

IFA Report 1/2013

Grenzwerteliste 2013

Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz



IFA Report 1/2013

Grenzwerteliste 2013

Sicherheit und Gesundheitsschutz
am Arbeitsplatz

Verfasser:	Chemische Einwirkungen: Wolfgang Pflaumbaum, Helmut Blome, Nadja von Hahn Biologische Einwirkungen: Annette Kolk Physikalische Einwirkungen: Martin Liedtke, Jörg Rissler, Uwe Kaulbars, Thomas von der Heyden, Nadja von Hahn Detlef Schwaß, Marc Wittlich, Fritz Börner, Helmut Zilligen, Markus Post, Olaf Mewes Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin
Verantwortlich f. d. Zusammenstellung:	Helmut Blome, Wolfgang Pflaumbaum, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin
Broschürenversand:	bestellung@dguv.de
Publikationsdatenbank:	www.dguv.de/publikationen
Herausgeber:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) Mittelstraße 51, D – 10117 Berlin Telefon: 030 288763800 Telefax: 030 288763808 Internet: www.dguv.de E-Mail: info@dguv.de – März 2013 –
Satz und Layout:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
Druck:	Medienhaus Plump GmbH, Rheinbreitbach
ISBN (print): ISBN (online):	978-3-86423-063-9 978-3-86423-064-6

Kurzfassung

Grenzwerteliste 2013

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) hat in der „Grenzwerteliste 2013“ die wichtigsten Grenzwerte zu chemischen, biologischen und physikalischen Einwirkungen zusammengestellt, die für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz von Bedeutung sind. Die Grenzwerteliste enthält die Gefahrstoffgrenzwerte (Arbeitsplatzgrenzwert – AGW – und Biologische Grenzwerte – BGW –) aus der TRGS 900 und 903 sowie die Einstufungen der TRGS 905 in einer Tabelle zusammengefasst sowie Grenzwerte und Beurteilungswerte für Innenräume, Lärm, Vibration, thermische Belastungen, Strahlung, Elektrizität, biomechanische Belastungen und Hinweise zu biologischen Einwirkungen.

Abstract

Limit Value List 2013

The „2013 List of Limit Values“ issued by the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA) contains the most important limit values for chemical, biological and physical agents which have an impact on health and safety in the workplace. The list contains a table of the limit values for hazardous substances (occupational exposure limit value [AGW] and biological limit value [BGW]) from the following points in the technical code of practice on hazardous substances (TRGS) TRGS 900, TRGS 903 „biological limit value“ and also the classifications of TRGS 905. Also included are limit values for indoor air, noise, vibration, thermal stress tolerance, radiation, electricity, biomechanical stress tolerance and notes on the effects of biological agents.

Résumé

Liste des valeurs-limites 2013

Dans sa «Liste des valeurs limites 2013» l'Institut de sécurité du travail des caisses légales allemandes d'assurance accidents (IFA) a établi les principales valeurs limites pour les actions chimiques, biologiques et physiques qui revêtent de l'importance pour la sécurité et la santé sur les emplacements de travail. La liste des valeurs limites regroupe dans un tableau les valeurs limites pour substances dangereuses (AGW, valeur limite d'exposition professionnelle et BGW, valeur limite biologique) issues de la TRGS*) 900 et TRGS 903 ainsi que les classements de la TRGS 905 ainsi que les valeurs limites pour l'air intérieur, les bruits, les vibrations, les sollicitations thermiques, le rayonnement, l'électricité, les sollicitations biomécaniques et les remarques sur les actions biologiques.

---

* *TRGS signifie Règlements techniques pour les substances dangereuses*

Abstract

Lista de valores limite 2013

El Instituto de Sociedad Cooperativa Profesional de Seguridad y Salud Ocupacional Alemán (IFA) ha reunido en la «Lista de valores máximos 2013» los valores máximos más significativos respecto de los efectos químicos, biológicos y físicos, de importancia para la higiene y seguridad del trabajo. La lista de valores máximos contiene una enumeración resumida de los valores máximos de sustancias nocivas (AGW [valor límite de exposición profesional] y BGW [valor límite biológico]) de TRGS 900*) y TRGS 903 así como las clasificaciones de TRGS 905 así como los valores máximos para espacios interiores, ruido, vibraciones, agentes térmicos, radiación, electricidad, agentes biomecánicos y advertencias acerca de los efectos biológicos.

---

* *TRGS: Normas técnicas para sustancias nocivas*

Inhaltsverzeichnis

Seite

Einleitung 9

Chemische Einwirkungen 11

1 Gefahrstoffgrenzwerte (AGW, BGW) 11
1.1 Gefahrstoffliste mit Vorbemerkungen 11
Anhang 1:
Biologische Grenzwerte (BGW) 107
1.2 Besondere Stoffgruppen 110

2 Gefahrstoffe in Innenräumen und in der Außenluft 112
2.1 Einführung und Erläuterungen 112
2.2 Tabelle der Beurteilungswerte der Gefahrstoffexposition in der Außen- und Innenluft 114
2.3 Spezielle Beurteilungswerte und Indikatoren für Innenraumarbeitsplätze 125
2.3.1 Kohlendioxid 125
2.3.2 Ozon 125
2.3.3 Formaldehyd 125
2.3.4 Flüchtige organische Verbindungen 125
2.3.5 Stäube 131
2.4 Literatur 131

Biologische Einwirkungen 135

1 Einführung und Erläuterungen 135

2 Kontrollwertkonzept 136
2.1 Technischer Kontrollwert 136
2.2 Messstrategie/Messverfahren 137
2.3 Schwankungsbreite von Messergebnissen 137
2.4 Glossar 137

3 Grenzwerte 138
3.1 Technischer Kontrollwert für biologische und andere Abfallbehandlungsanlagen 138
3.2 Endotoxine 139
3.3 Luftbefeuchtungseinrichtungen 139
3.4 Innenräume 139

4 Literatur 142

Seite

Physikalische Einwirkungen 145

1 **Lärm** 145
1.1 Einführung und Erläuterungen 145
1.1.1 Gehörgefährdung 145
1.1.2 Extraaurale Lärmwirkungen 145
1.1.3 Unfallgefahren 145
1.2 Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte 146
1.2.1 Gehörgefährdung 146
1.2.2 Extraaurale Lärmwirkungen 146
1.2.3 Unfallgefahren 147
1.3 Literatur 147

2 **Vibrationen** 148
2.1 Einführung und Erläuterung relevanter Grenzwerte in Normen und Verordnungen 148
2.2 Bestimmung von A(8) 149
2.2.1 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Hand-Arm-Schwingungen 149
2.3 Richtwertkurven für die Prävention 150
2.3.1 Richtwertkurve Hand-Arm-Schwingungen 150
2.3.2 Richtwertkurve Ganzkörper-Schwingungen 150
2.4 Einfaches Verfahren zur Gefährdungsanalyse 151
2.4.1 Punktwerte für Hand-Arm-Schwingungen 151
2.4.2 Punktwerte für Ganzkörper-Schwingungen 151
2.5 Literatur 156

3 **Thermische Belastungen** 157
3.1 Klimatische Belastungen 157
3.1.1 Erläuterungen 157
3.1.2 Klimabereiche und Grenzbetrachtungen 157
3.1.3 Klimabewertung 157
3.1.3.1 Behaglichkeitsbereich 157
3.1.3.2 Kältebereich 159
3.1.3.3 Warmbereich 159
3.1.3.4 Hitzebereich 159
3.1.4 Literatur 161
3.2 Berührungen heißer Oberflächen 162
3.2.1 Erläuterungen 162
3.2.2 Grenzwerte 162
3.2.3 Empfehlungen 162
3.2.4 Literatur 162
3.3 Berührungen kalter Oberflächen 162
3.3.1 Erläuterungen 162
3.3.2 Grenzwerte 162
3.3.3 Empfehlungen 163
3.3.4 Literatur 163

4 **Strahlung** 164
4.1 Ionisierende Strahlung 164
4.1.1 Erläuterungen 164
4.1.2 Grenzwerte 164
4.1.3 Literatur 168
4.2 Inkohärente optische Strahlung (ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung) 169
4.2.1 Erläuterungen 169
4.2.2 Ultraviolette Strahlung 169
4.2.2.1 Wirkungen 169
4.2.2.2 Grenzwerte 169
4.2.2.3 Messung und Bewertung von UV-Strahlenexpositionen 171
4.2.3 Sichtbare und Infrarot-Strahlung 171

Seite

4.2.3.1	Wirkungen	171
4.2.3.2	Grenzwerte	171
4.2.3.3	Messung und Bewertung von sichtbarer und infraroter Strahlung	173
4.2.4	Literatur	173
4.3	Laserstrahlung	174
4.3.1	Erläuterungen	174
4.3.2	Wirkungen	174
4.3.3	Grenzwerte	174
4.3.4	Weitere Hilfen	178
4.3.5	Empfehlungen	178
4.3.6	Literatur	178
4.4	Elektromagnetische Felder	179
4.4.1	Erläuterungen	179
4.4.2	Grenzwerte	179
4.4.3	Literatur	179
4.4.4	Zulässige Werte nach BGV B11	179
5	**Elektrizität**	189
5.1	Einführung und Erläuterungen	189
5.2	Grenzwerte	189
5.3	Empfehlungen	189
5.4	Literatur	189
6	**Biomechanische Belastungen**	190
6.1	Heben und Tragen von Lasten	190
6.1.1	Einführung und Erläuterungen	190
6.1.2	Richtwerte	190
6.1.3	Literatur	191
6.2	Quetschen von Körperteilen	191
6.2.1	Einführung und Erläuterungen	191
6.2.2	Grenzwerte	191
6.2.3	Literatur	193

Einleitung

In diesem Report sind die für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz wichtigsten Grenzwerte für chemische, biologische und physikalische Einwirkungen auf Personen zusammengestellt. Damit wird allen mit dem Arbeitsschutz Befassten ein einfaches Hilfsmittel an die Hand gegeben, um die am Arbeitsplatz festgestellten Belastungen im Sinne der EU-Richtlinie 89/391/EWG und des Arbeitsschutzgesetzes zu bewerten. Insbesondere Klein- und Mittelbetriebe, die erfahrungsgemäß große Schwierigkeiten haben, alle für sie relevanten Informationen über Arbeitsplatzgrenzwerte verfügbar zu haben, werden die hier zusammengetragenen Informationen als nützliches Kompendium verwenden können.

Aufgenommen sind solche Grenzwerte, die im staatlichen Vorschriften- und Regelwerk niedergelegt sind. Existieren für bestimmte Einwirkungen lediglich Angaben in Normen bzw. als arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse oder Veröffentlichungen ausländischer Institutionen, so sind diese mit einer entsprechenden Bemerkung zitiert, um dem Leser eine Orientierung zu geben.

Die im Juli 2012 veröffentlichte Gefahrstoffliste des IFA (IFA Report 1/2012) enthält weitergehende Informationen zum Sachgebiet „Gefahrstoffe“, insbesondere Daten zu den Bereichen „Einstufung“ und „Kennzeichnung“ sowie Hinweise auf das Regelwerk und zu Messverfahren.

Das Kapitel „Chemische Einwirkungen“ in diesem Report ist in zwei Abschnitte unterteilt:

- Der Abschnitt „Gefahrstoffgrenzwerte“ enthält die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) und Biologischen Grenzwerte (BGW) einschließlich der Anfang 2013 veröffentlichten Änderungen.
- Der Abschnitt „Gefahrstoffe in Innenräumen und in der Außenluft“ enthält Grenzwerte und Empfehlungen für die Innen- und Außenluft.

Im Kapitel „Biologische Einwirkungen“ wird wegen des Verzichts auf Grenzwerte für den Arbeitsplatz insbesondere auf die Grundzüge einer Arbeitsplatzbeurteilung eingegangen.

Das Kapitel „Physikalische Einwirkungen“ beinhaltet zu folgenden Bereichen Grenzwerte und Erläuterungen:

- Lärm
- Vibration
- Thermische Belastungen
- Strahlung
- Elektrizität
- Biomechanische Belastungen (Heben und Tragen von Lasten)

Besonderer Wert wurde auf Vollständigkeit und korrekte Wiedergabe der Daten gelegt. Dennoch kann bei dem Umfang des Datenmaterials nicht ausgeschlossen werden, dass sich Fehler eingeschlichen haben. Die Autoren sind für entsprechende Hinweise dankbar.

Chemische Einwirkungen

1 Gefahrstoffgrenzwerte (AGW, BGW)

1.1 Gefahrstoffliste mit Vorbemerkungen

Die Stoffliste enthält Hinweise zu Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) und Biologischen Grenzwerten (BGW) und deren Herkunft sowie zur Einstufung und Gefahr der Sensibilisierung bzw. Hautresorption. Detaillierte Informationen zum Inhalt der einzelnen Spalten sind im Vorspann ausführlich erläutert.

Die Angaben wurden folgenden Veröffentlichungen entnommen:

- Anhang VI der GHS(CLP)-Verordnung 1272/2008, Stand: Verordnung (EU) Nr. 618/2012
- TRGS 906 „Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV"
- TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe"
- TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte"
- TRGS 903 „Biologische Grenzwerte"
- 48. Mitteilung der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK- und BAT-Werte-Liste 2012), Wiley-VCH, Weinheim, 2012

Erläuterungen zur Liste

Spalte 1 — Stoffidentität

Mit „*" gekennzeichnete Stoffe weisen auf einen neuen Arbeitsplatzgrenzwert oder auf Veränderungen bei der Einstufung (Spalte 2 bis 4) und/oder den Biologischen Grenzwerten hin.

Als zusätzliches Hilfsmittel zur Identifizierung der Stoffe werden folgende Registriernummern in der Liste angegeben:

- [CAS-Nummer] (Registriernummer des „Chemical Abstract Service")
- und unter der EG-Nummer die
  - EINECS-Nummer (Registriernummer der „European Inventory of Existing Chemical Commercial Substances") bzw.
  - ELINCS-Nummer (Registriernummer der „European List of New Chemical Substances")

Einstufung/Bewertung

In den Spalten 2 bis 5 wird die Einstufung bzw. Bewertung von Stoffen nach der GHS(CLP)-Verordnung 1272/2008, Anhang VI, bzw. der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS 905) wiedergegeben (alte Bezeichnung).

In den Spalten 2 bis 4 erscheinen die nationalen Bewertungen nach TRGS 905 in Normalschrift. Wurde von der Europäischen Kommission entschieden, einen Stoff nach Anhang VI der GHS(CLP)-Verordnung 1272/2008 als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend einzustufen, ist die Einstufung durch eine fette Schreibweise hervorgehoben.

Bei einigen Stoffen finden sich in Spalte 2, 3 oder 4 zwei Eintragungen: z. B. Bromethan 2 und 3. Hierbei gilt die fett gedruckte Eintragung (Legaleinstufung) für das Inverkehrbringen von Gefahrstoffen (EU-Einstufung), während die nationale Bewertung (Kat. 2) für Tätigkeiten mit diesem Gefahrstoff gilt (TRGS 905). Das heißt, für Tätigkeiten mit diesem Gefahrstoff gelten in diesem Fall die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) für krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe der Kategorie 1 oder 2. Im Sicherheitsdatenblatt ist auf die Wirkung der Stoffe nach TRGS 905 hinzuweisen (§ 5 Abs. 2 GefStoffV). Sofern aufgrund der Datenlage vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) keine Einordnung in die Kategorien 1 bis 3 vorgenommen werden konnte, wird dies durch einen Strich (–) gekennzeichnet.

Spalte 2 — Krebserzeugend (K)

1 Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen.

2 Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- geeignete Langzeit-Tierversuche
- sonstige relevante Informationen

3 Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch ungenügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um einen Stoff in Kategorie 2 einzustufen.

R 49 kann Krebs erzeugen beim Einatmen

Spalte 3 — Erbgutverändernd (M)

1 Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen erbgutverändernd wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und vererbbaren Schäden vorhanden.

2 Stoffe, die als erbgutverändernd für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu vererbbaren Schäden führen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:

- geeigneten Tierversuchen

- sonstigen relevanten Informationen

3 Stoffe, die wegen möglicher erbgutverändernder Wirkung auf den Menschen zur Besorgnis Anlass geben. Aus geeigneten Mutagenitätsversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in Kategorie 2 einzustufen.

Spalte 4 — Fortpflanzungsgefährdend (R_E, R_F)

R_F Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) und

R_E Fruchtschädigend (entwicklungsschädigend)

R_F1 Stoffe, die beim Menschen die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) bekanntermaßen beeinträchtigen

R_E1 Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) wirken

R_F2 Stoffe, die als beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen angesehen werden sollten

R_E2 Stoffe, die als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) für den Menschen angesehen werden sollten

R_F3 Stoffe, die wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen zur Besorgnis Anlass geben

R_E3 Stoffe, die wegen möglicher fruchtschädigender (entwicklungsschädigender) Wirkungen beim Menschen zur Besorgnis Anlass geben

Spalte 5 — Sensibilisierende Stoffe (S)

Sensibilisierungen der Haut und/oder der Atemwege können durch viele Stoffe ausgelöst werden. Wiederholter Kontakt kann zu allergischen Erkrankungen führen. Die Einhaltung der Luftgrenzwerte gibt keine Sicherheit gegen das Auftreten allergischer Reaktionen. Mit „S“ ausgewiesen werden alle Stoffe, die nach den EU-Kriterien als sensibilisierend (R42, R43) angesehen werden müssen (TRGS 907 und GHS-Verordnung). Bei sensibilisierenden Stoffen sind zusätzlich die TRGS 401 und 406 zu beachten.

Sa = Sensibilisierung der Atemwege
Sh = Sensibilisierung der Haut
S = Sensibilierung der Atemwege und der Haut

Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)

Spalte 6 — AGW in mg/m³ bzw. ml/m³

Die in dieser Spalte angegebenen Arbeitsplatzgrenzwerte beziehen sich auf die Konzentration (Gewichts- bzw. Volumenanteil) eines Gefahrstoffes in der Luft am Arbeitsplatz. Für die Bewertung der inhalativen Exposition ist der Massenwert als Bezugswert heranzuziehen. Arbeitsplatzgrenzwerte sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition und bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden. Kurzzeitige Überschreitungen des Schichtmittelwertes (Expositionsspitzen) werden mit Kurzzeitwerten (Spalte 7) beurteilt, die nach Höhe und Dauer gegliedert sind.

1 Allgemeiner Staubgrenzwert

Der Allgemeine Staubgrenzwert ist anzuwenden bei Vorliegen von schwer löslichen bzw. unlöslichen Stäuben, die nicht anderweitig reguliert sind. Er ist auch als Beurteilungsgrundlage heranzuziehen, wenn am Arbeitsplatz Faserstäube vorliegen, die nicht als krebserzeugend eingestuft sind (z. B. nicht biopersistente Mineralwollen oder Papierstäube). Mit einer Gesundheitsgefährdung ist nur dann nicht zu rechnen, wenn nach einschlägiger Überprüfung sichergestellt ist, dass erbgutverändernde, krebserzeugende, sensibilisierende, fibrogene oder sonstige toxische Wirkungen der Stäube nicht zu erwarten sind. Dies gilt zum Beispiel für folgende Stäube (siehe auch Nummer 2.5 der TRGS 900):

Aluminium, Aluminiumhydroxid, Aluminiumoxid (faserfrei, außer Aluminiumoxid-Rauch), Bariumsulfat, Eisen(II)oxid, Eisen(III)oxid, Graphit, Magnesiumoxid (außer Magnesiumoxid-Rauch), Polyvinylchlorid, Siliciumcarbid (faserfrei), Tantal und Titandioxid

Liegen dagegen Stäube oder Staubgemische vor, bei denen über die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge der allgemeinen Staubwirkung hinaus die oben genannten spezifischen Wirkungen zu erwarten sind, müssen auf alle Fälle die stoffspezifischen Grenzwerte eingehalten werden. Zusätzlich aber gilt, dass auch hier der Allgemeine Staubgrenzwert im Sinne einer allgemeinen Obergrenze eingehalten werden muss.

Die Grenzwerte sind in der TRGS 900 als Schichtmittelwerte festgelegt worden. Der Allgemeine Staubgrenzwert gilt nicht für

- lösliche Stäube
- ultrafeine Partikelfraktionen

- grobdisperse Partikelfraktionen
- Lackaerosole
- Arbeitsplätze, die einem überwachten und dokumentierten dosisbasierten Schutzkonzept nach Gesundheitsschutz-Bergverordnung unterliegen.

Messung und Beurteilung

Löslichkeit

Lösliche Bestandteile wie z. B. bestimmte Alkali- oder Erdalkalisalze (u.a. Stein- und Kalisalze) fallen nicht unter den Geltungsbereich des Allgemeinen Staubgrenzwertes, werden aber wegen des damit verbundenen Aufwandes nicht separat erfasst. Für den Fall, dass dennoch eine Differenzierung erforderlich ist, steht ein Konventionsverfahren zur Ermittlung der Löslichkeit von Stäuben in der IFA Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ (siehe Kennzahl 0412/7) zur Verfügung.

Dichte der Stäube

Die arbeitsplatztypische Staubdichte liegt in vielen Fällen im Bereich um 2,5 g/cm^3. Der AGS hat auf dieser Basis abgeleitet, dass bei einer Dichte der Stäube von ≥ 2,5 g/cm^3 nach derzeitigen Erkenntnissen eine Gesundheitsgefährdung bei Einhaltung des Grenzwertes von 3 mg/m^3 (alveolengängige Fraktion) nicht zu erwarten ist, sofern die Stäube keine spezifisch wirkenden Inhaltsstoffe enthalten.

Beurteilung der Konzentrationen nach TRGS 402

Zur Beurteilung der in der Luft des Arbeitsbereiches auftretenden Konzentrationen sind in der Regel immer die einatembare und alveolengängige Fraktion zu bestimmen. Der höhere Stoffindex ist für die Arbeitsplatzbeurteilung heranzuziehen. Liegen ausreichende Informationen über das Verhältnis von einatembarer zu alveolengängiger Fraktion vor, so genügt es, die Fraktion zu bestimmen, die den höheren Stoffindex ergibt. Diese Informationen können direkt aus der Arbeitsplatzbeurteilung gewonnen werden oder in Form von standardisierten Arbeitsverfahren nach Nummer 5 der TRGS 400 vorliegen.

Gemische

Der Allgemeine Staubgrenzwert soll die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge der allgemeinen Staubwirkung verhindern. Kommen am Arbeitsplatz Stoffe als Staub oder Rauch vor, die eigene Grenzwerte haben (z. B. Mangan oder Chrom), so sind deren Stoffindizes nicht mit den Stoffindizes des Allgemeinen Staubgrenzwertes zu einem Bewertungsindex zusammenzufassen. Bei der Addition aller Indizes würde es zu einer doppelten Berücksichtigung der Mangan- oder Chromkonzentrationen kommen, da diese Metallstaubkonzentrationen auch bei der unspezifischen Staubmessung mit erfasst werden.

Bei Stoffgemischen, die chemisch-irritativ wirkende Stoffe enthalten (z. B. gasförmige Stoffe wie Ozon oder Stickstoffoxide), sind synergistische Effekte zu erwarten. Die gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnisse erlauben derzeit jedoch keine Quantifizierung dieser Einflüsse. Bis zum Vorliegen geeigneter arbeitsmedizinischer und expositionsbezogener Daten und dem Abschluss der wissenschaftlichen Diskussion werden deshalb auch bei diesen Stoffgemischen bei der Berechnung der Bewertungsindizes nach Nummer 5.2.1 der TRGS 402 die Stoffindizes für den allgemeinen Staubgrenzwert nicht berücksichtigt.

Aus den Stoffindizes für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion wird ebenfalls kein Bewertungsindex berechnet.

2 Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffgemische

Die Arbeitsplatzgrenzwerte (siehe Kohlenwasserstoffgemische in der Liste) sind anzuwenden auf flüssige Stoffgemische und auf Bestandteile flüssiger Stoffgemische, die ausschließlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen, wobei unter Kohlenwasserstoffen organische Verbindungen zu verstehen sind, die sich nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammensetzen. Hierzu gehören n-Aliphaten, iso-Aliphaten, Cycloaliphaten (Naphthene) und Aromaten. Wenn Gemische aus Kohlenwasserstoffen und anderen Lösemitteln vorliegen, dann bezieht sich dieser Teil nur auf den Kohlenwasserstoffanteil in der Gesamtmischung einer Zubereitung.

Die Arbeitsplatzgrenzwerte sind nicht anzuwenden auf Gemische mit einem Benzolgehalt › 0,1 Gew.-% sowie auf Gemische aus Terpenkohlenwasserstoffen, vegetabile Lösemittel (z. B. Rapsölprodukte) sowie auf andere komplexe kohlenwasserstoffhaltige Gemische wie Kühlschmierstoffe, Kraftstoffe, Schmieröle oder Korrosionsschutzflüssigkeiten, da diese Gemische in der Regel olefinische Kohlenwasserstoffe, kohlenwasserstofffremde Additive (mit einem Additivgehalt von mehr als einem Prozent) oder langkettige Kohlenwasserstoffe (C › 15) enthalten. Eine Zusammenstellung dieser kohlenwasserstoffhaltigen Produkte enthält das Begründungspapier „Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffgemische – Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei (RCP-Methode)“ im Anhang.

Die in der Praxis eingesetzten Kohlenwasserstoffgemische lassen sich jedoch in der Regel nicht ausschließlich den in der Liste genannten Fraktionen (RCP-Gruppen) zuordnen, da sie aus Kohlenwasserstoffen mehrerer RCP-Gruppen zusammengesetzt sind. Für diese Gemische ist auf Basis der in der Liste aufgeführten Grenzwerte und des Massengehalts (w/w) der Fraktionen im **flüssigen** Lösemittelgemisch der für das Gemisch maßgebliche Arbeitsplatzgrenzwert nach der RCP-Methode (RCP = reciprocal calculation procedure) mittels Formel (1) zu berechnen.

Werden Mischungen aus mehreren Kohlenwasserstoffgemischen hergestellt (z. B. in Lacken), ist ebenfalls nach Formel (1) der AGW für das neue Kohlenwasserstoffgemisch zu berechnen. In diesen Fällen gehen die einzelnen Kohlenwasserstoffgemische der Mischung mit ihren Arbeitsplatzgrenzwerten und ihrem Massengehalt (w/w) im **flüssigen** Lösemittelgemisch in die Berechnung ein.

Die Stoffe n-Hexan, Cyclohexan, Naphthalin, 1,2-Diethylbenzol und n-Butylbenzol werden durch die Gruppengrenzwerte nicht berücksichtigt und sind wie die RCP-Gruppen über ihren mengenmäßigen Anteil und den Einzelstoffgrenzwert (soweit festgelegt) bei der Berechnung des Grenzwertes mittels Formel (1) zu berücksichtigen.

Andere Kohlenwasserstoffe wie z. B. Pentan, Xylol und Toluol, für die ebenfalls Arbeitsplatzgrenzwerte in der TRGS 900 festgelegt sind, werden dagegen mit den jeweiligen Gruppengrenzwerten berücksichtigt. Sofern sie als Einzel-Kohlenwasserstoff einem Kohlenwasserstoffgemisch zugesetzt werden, gehen sie in die Berechnung mit ihrem RCP-Gruppengrenzwert und nicht mit ihrem stoffspezifischen AGW ein.

$$\frac{1}{AGW_{Gemisch}} = \frac{Fraktion_a}{AGW_a} + \frac{Fraktion_b}{AGW_b} + \ldots \frac{Fraktion_n}{AGW_n} \quad (1)$$

In der Formel bedeuten:

Fraktion$_{a \ldots n}$

Massenanteil (w/w)

- der jeweiligen Fraktion (RCP-Gruppe) des Kohlenwasserstoffgemisches oder
- eines Einzel-Kohlenwasserstoffs oder
- eines Kohlenwasserstoffgemisches (bei Mischungen aus Kohlenwasserstoffgemischen)

im **flüssigen** Lösemittelgemisch.

AGW$_{a \ldots n}$

Der zur entsprechenden Fraktion gehörende

- Gruppengrenzwert der jeweiligen Fraktion (RCP-Gruppe) oder
- stoffspezifische Arbeitsplatzgrenzwert eines Einzel-Kohlenwasserstoffs oder
- Arbeitsplatzgrenzwert eines Kohlenwasserstoffgemisches (bei Mischungen aus Kohlenwasserstoffgemischen)

Die errechneten Arbeitsplatzgrenzwerte sind wie folgt auf- oder abzurunden:

< 100 mg/m³:	auf volle 25 mg/m³
von 100 bis 600 mg/m³:	auf volle 50 mg/m³
> 600 mg/m³:	auf volle 100 mg/m³

Ist im Sicherheitsdatenblatt kein Arbeitsplatzgrenzwert für das Kohlenwasserstoffgemisch angegeben und die Zusammensetzung des Kohlenwasserstoffgemisches nicht bekannt, ist der niedrigste Gruppengrenzwert (100 mg/m³) für die Beurteilung heranzuziehen. Bei Gemischen mit einem Naphthalingehalt von mehr als 0,07 Gew.% kann dieser Worst-case-Grenzwert aufgrund des AGW für Naphthalin von 0,5 mg/m³ nicht angewendet werden. Sofern im Einzelfall detailliertere Informationen zur Zusammensetzung vorhanden sind, kann von dieser Regelung abgewichen werden. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn die Zusammensetzung des Kohlenwasserstoffgemisches in Spannbreiten angegeben wird oder bekannt ist, dass es sich um ein aromatenfreies bzw. entaromatisiertes oder ein reines aromatenhaltiges Gemisch handelt.

Beurteilung von Mischexpositionen

Besteht innerhalb einer Schicht zeitlich nacheinander oder gleichzeitig durch mehrere Emissionsquellen eine Exposition gegenüber mehreren Kohlenwasserstoffgemischen verschiedener Fraktionen, so ist der niedrigste Arbeitsplatzgrenzwert der eingesetzten Fraktionen zur Beurteilung heranzuziehen, sofern eine messtechnische Differenzierung nicht vorgenommen wird oder werden kann.

Besteht neben der Exposition gegenüber einem oder mehreren Kohlenwasserstoffgemischen auch eine gleichzeitige Exposition gegenüber kohlenwasserstofffremden Lösemitteln mit Arbeitsplatzgrenzwerten wie z. B. Estern, Ketonen, Alkoholen usw., so ist das Messergebnis für das Kohlenwasserstoffgemisch zusammen mit den Ergebnissen für die anderen Stoffe in die Berechnung des Bewertungsindexes für das Gemisch mit einzubeziehen.

Die Beurteilung der Exposition gegenüber Kohlenwasserstoffgemischen erfolgt ausschließlich über die RCP-Gruppengrenzwerte bzw. Arbeitsplatzgrenzwerte, die mittels der Formel (1) berechnet wurden. Die Bewertung von Kohlenwasserstoffgemischen über Einzelstoffgrenzwerte und Bildung eines Bewertungsindexes für das Gemisch durch Addition der Stoffindizes ist nicht zulässig. Sofern Lösemittelgemische unter Verwendung von Einzel-Kohlenwasserstoffen und anderen Lösemittelkomponenten mit Arbeitsplatzgrenzwert hergestellt werden (z. B. Xylol + Toluol + Ethylacetat), ist die Exposition jedoch durch die Berechnung des Bewertungsindexes zu beurteilen.

Weitere Informationen: IFA-Homepage unter Fachinformationen

RCP-Rechner:
www.dguv.de/ifa/rcp-rechner

3 Partikelfraktion

Falls Stoffe partikelförmig auftreten, wird mit der Angabe „A" bzw. „E" ein Hinweis darauf gegeben, welche Fraktion für die Beurteilung durch Vergleich mit dem Grenzwert heranzuziehen ist. In Klammern ist die ältere, z. T. noch gebräuchliche Bezeichnung angegeben. Die neueren Bezeichnungen sind der Europäischen Norm EN 481 „Festlegung von Konventionen von Partikelgrößenfraktionen zur Messung von Schwebstoffen am Arbeitsplatz" entnommen.

Bezeichnung	Abkürzung	Ältere Bezeichnung
Alveolengängige Fraktion	A	Feinstaub (F)
Einatembare Fraktion	E	Gesamtstaub (G)

Spalte 7 — Spitzenbegrenzung

Um Expositionsspitzen in ihrer Höhe und Dauer zu begrenzen, hat der AGS sogenannte Kurzzeitwerte festgelegt, welche die unterschiedlichen Wirkungscharakteristika verschiedener Stoffgruppen berücksichtigen. Die Kurzzeitwertkonzentration ergibt sich aus dem Produkt von Arbeitsplatzgrenzwert und Überschreitungsfaktor. Der maximale Überschreitungsfaktor beträgt 8. Bei achtfacher Überschreitung des Grenzwertes viermal pro Schicht über 15 Minuten darf eine weitere Exposition in dieser Schicht nicht mehr erfolgen, da sonst die Konzentration am Arbeitsplatz als Schichtmittelwert den Grenzwert überschreitet [8 · GW · (0,25h · 4)/8h + 0 · GW · 7h/8h = GW]. Auch darf keine Exposition gegenüber anderen Stoffen mit Arbeitsplatzgrenzwerten bestehen, da in diesem Fall die Kriterien für Gemische nach TRGS 402 zum Tragen kommen.

Zwei Kurzzeitwertkategorien sind festgelegt:

- Kategorie I
  Stoffe, bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist, oder atemwegssensibilisierende Stoffe

a) Als Basiswert wird ein Überschreitungsfaktor von 1 festgelegt, der stoffspezifisch angepasst werden kann (bis maximal 8). Die Kurzzeitwertphase darf 15 Minuten nicht überschreiten. Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z. B. durch eine 15-minütige Probenahme.

b) In begründeten Fällen kann auch ein Momentanwert festgelegt werden, der zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf. Die Stoffe werden in der Spalte „Spitzenbegrenzung" durch das Zeichen = = und den Überschreitungsfaktor ausgewiesen (in der Regel: =2=). Die technischen und organisatorischen Maßnahmen sind so festzulegen, dass die Kurzzeitwertkonzentration nicht überschritten wird. Für die betriebliche Überwachung ist eine möglichst kurze Mittelungsdauer entsprechend den messtechnischen Möglichkeiten zu wählen (siehe auch TRGS 402, Anlage 3).

Bei einigen Stoffen der Kategorie I wird sowohl ein 15-Minuten-Mittelwert als auch ein Momentanwert festgesetzt. In diesem Fall werden beide Überschreitungsfaktoren in der TRGS 900 aufgeführt. Eine Spitzenbegrenzung (Kurzzeitwert) von z. B. 2, =4= (I) bedeutet, dass die zweifache Grenzwertkonzentration als Mittelwert über 15 Minuten einzuhalten ist und im gleichen Zeitraum die vierfache Grenzwertkonzentration zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf.

- Kategorie II
  Resorptiv wirksame Stoffe

Als Basiswert (15-Minuten-Mittelwert) wird ein Überschreitungsfaktor (ÜF) von 2 festgelegt, der stoffspezifisch angepasst werden kann (bis maximal 8). Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z. B. durch eine 15-minütige Probenahme. Bei Stoffen der Kurzzeitwert-Kategorie II sind auch längere Überschreitungsdauern zulässig, solange das Produkt aus Überschreitungsfaktor und Überschreitungsdauer eingehalten wird.

Bei Überschreitungsfaktoren von 8, 4 und 2 sind somit z. B. die in der Tabelle angegebenen Varianten möglich.

Zulässiger Überschreitungsfaktor in Abhängigkeit von der Überschreitungsdauer

Spitzenbegrenzung nach TRGS 900	Expositionsdauer in Minuten									
	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120
Kategorie: 8 (II), ÜF =	8	6	4,8	4	3	2,4	2	1,5	1,2	1
Kategorie: 4 (II), ÜF =	4	3	2,4	2	1,5	1,2	1			
Kategorie: 2 (II), ÜF =	2	1,5	1,2	1						

- Zeitraum

Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration oberhalb des Grenzwertes als 15-Minuten-Mittelwert (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig.

- Stoffe ohne Kurzzeitwert

Für einige Stoffe wurde keine Begrenzung der Expositionsspitzen festgelegt. In diesem Fall hat der AGS in der TRGS 402, Anlage 3, Nr. 3.2 (4), vorgesehen, dass Expositionen, die kürzer als eine Stunde sind, den Grenzwert höchstens um den Faktor 8 überschreiten dürfen. Das bedeutet, dass sich die entsprechende Messung auf die tatsächliche Expositionsdauer beziehen muss.

Spalte 8 — Bemerkungen

H (Hautresorptive Stoffe)

Verschiedene Stoffe können leicht durch die Haut in den Körper gelangen und zu gesundheitlichen Schäden führen. Bei Tätigkeiten mit hautresorptiven Stoffen ist die Einhaltung des Luftgrenzwertes für den Schutz der Gesundheit nicht ausreichend. Durch organisatorische und arbeitshygienische Maßnahmen ist sicherzustellen, dass der Hautkontakt mit diesen Stoffen unterbleibt. Bei unmittelbarem Hautkontakt ist die TRGS 401 zu beachten. Ein „H“ in Klammern wurde der MAK- und BAT-Werte-Liste der DFG entnommen.

Y (AGW und Schwangerschaft)

Mit der Bemerkung „Y“ werden Stoffe ausgewiesen, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes und des Biologischen Grenzwertes nicht befürchtet zu werden braucht.

Z

Mit der Bemerkung „Z“ werden Stoffe ausgewiesen, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung auch bei Einhaltung des AGW und des Biologischen Grenzwertes (BGW) nicht ausgeschlossen werden kann.

Erläuterungen

(1) Kieselguren können, je nach Herkunft, Anteile von Quarz enthalten. Das Brennen bzw. Calcinieren von Kieselguren führt zu steigenden Cristobalitanteilen. Aktivierte Kieselgur kann bis zu 60 Massen-% Cristobalit enthalten. Bei der Beurteilung der Exposition gegenüber (gebrannten) Kieselguren sind sowohl der amorphe Anteil (Grenzwert für Kieselgur bzw. gebrannte Kieselgur) als auch die Summe der Anteile an Cristobalit und Quarz (krebserzeugend nach TRGS 906) zu ermitteln und zu bewerten. Auch in Kieselrauchen kann produktionsbedingt Quarz enthalten sein, der neben dem Kieselrauch gesondert zu ermitteln und zu bewerten ist.

(2) Kolloidale amorphe Kieselsäure [7631-86-9] einschließlich pyrogener Kieselsäure und im Nassverfahren hergestellter Kieselsäure (Fällungskieselsäure, Kieselgel)

(3) Technische Produkte maßgeblich mit 2-Nitropropan (krebserzeugend Kat. 2) verunreinigt

(4) Gilt nur für Rohbaumwolle

(5) Gefahr der Hautresorption für Amin-Formulierung und Ester, nicht jedoch für die Säure

(6) Die Reaktion mit nitrosierenden Agenzien kann zur Bildung von kanzerogenen N-Nitrosaminverbindungen führen.

(7) Nur für Arbeitsplätze ohne Hautkontakt

(8) 0,5 = (Konz. α-HCH dividiert durch 5) + Konz. β-HCH

(9) Die Bewertung bezieht sich nur auf den reinen Stoff: Verunreinigung mit Chlorfluormethan [593-70-4] ändert die Risikobeurteilung grundlegend.

(10) Der Arbeitsplatzgrenzwert bezieht sich auf den Elementgehalt des entsprechenden Metalls.

(11) Summe aus Dampf und Aerosolen

(12) Der Luftgrenzwert gilt in der Regel nur für die Monomeren. Zur Beurteilung von Oligomeren oder Polymeren siehe TRGS 430 „Isocyanate“

(13) Eine Begründung für die Ableitung eines gesundheitsbasierten AGW liegt nicht vor.

(14) AGW für die Summe der Luftkonzentrationen von 1-Ethoxypropan-2-ol und 2-Ethoxy-1-methylethylacetat

(15) Für die analytische Bestimmung wird folgende Vorgehensweise empfohlen: „Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe“, Band 1 „Luftanalysen“, 14. Lieferung 2005, und „Spezielle Vorbemerkungen“, Kap. 4.7.1, S. 29-30, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, oder „Messung von Gefahrstoffen“, IFA Arbeitsmappe, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld

(16) Der AGW ist nur als Kurzzeitwert festgelegt. Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z. B. durch eine 15-minütige Probenahme.

(17) Der AGW gilt für die Dampfphase bei erhöhten Temperaturen und ist nicht zur Bewertung als Aerosolkonzentration heranzuziehen.

(18) Die messtechnische Bestimmung kann durch die gravimetrische Bestimmung der E-Staubfraktion erfolgen.

(19) Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG hat in der MAK- und BAT-Werte-Liste zum gleichlautenden MAK-Wert auch einen BAT-Wert festgelegt.

(50) Die Europäische Kommission hat folgende verbindliche Grenzwerte festgelegt:

Stoff	EU-Richtlinie	Verbindlicher EU-Grenzwert
Asbest	2009/148/EG	100 000 F/m³
Benzol	2004/37/EG	1 ml/m³
Blei und anorgische Bleiverbindungen	98/24/EG	0,15 mg/m³
Hartholzstäube	2004/37/EG	5 mg/m³
Vinylchlorid	2004/37/EG	3 ml/m³

Da auch bei Einhaltung der bindenden EU-Grenzwerte das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit nicht auszuschließen ist, sind entsprechend dem Minimierungsgebot der GefStoffV durch fortgesetzte Verbesserungen der technischen Schutzmaßnahmen Konzentrationen in der Luft anzustreben, die möglichst weit unterhalb der Grenzwerte liegen. Für folgende Stoffe wurden vom Ausschuss für Gefahrstoffe Expositionsbegrenzungswerte festgelegt, die den Stand der Technik beschreiben:

- Holzstaub, siehe TRGS 553 (2 mg/m³ E)
- Blei, siehe TRGS 505 (0,1 mg/m³ E)
- Asbest in mineralischen Rohstoffen, siehe TRGS 517 (15 000 F/m³)
- Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten einschließlich Messstrategie, siehe TRGS 519

  Hinsichtlich der zu treffenden Maßnahmen gelten folgende Asbestfaserkonzentrationen:

  – 15 000 F/m³ für Arbeiten mit geringer Exposition

  – 100 000 F/m³ für Arbeiten geringen Umfangs (maximal zwei Arbeitnehmer, maximal vier Stunden)

Spalte 9 — Herkunft (Jahr)

Herkunft

Die in der TRGS 900 aufgeführten Grenzwerte werden von folgenden Institutionen vorgeschlagen:

- Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Die von der DFG-Kommission vorgeschlagenen Werte sind in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2012 veröffentlicht.

- Europäische Kommission

Die Europäische Kommission verabschiedet Richtgrenzwerte und verbindliche Grenzwerte für eine berufsbedingte Exposition (EU-Richtlinien der Europäischen Kommission zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz).

- Ausschuss für Gefahrstoffe

Vom AGS nach den Kriterien der BekGS 901 aufgestellte Arbeitsplatzgrenzwerte

Mit den folgenden Kürzeln wird in Spalte 9 auf die Herkunft der Luftgrenzwerte und den Fundort für evtl. vorliegende Begründungspapiere (in Klammern) hingewiesen:

- AGS – Ausschuss für Gefahrstoffe (www.baua.de)
- DFG – Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
- EU – Europäische Kommission
- AUS – Ausländischer Luftgrenzwert

Jahreszahl

Die Jahreszahl gibt an, in welchem Jahr der Luftgrenzwert in das technische Regelwerk aufgenommen wurde bzw. wann die letzte Änderung des Luftgrenzwertes erfolgte.

Spalte 10 — Werte im biologischen Material

Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge nach GefStoffV und der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) sind neben den Expositionsgrenzwerten für Gefahrstoffe in der Luft am Arbeitsplatz auch die Biologischen Grenzwerte (BGW) zu beachten. BGW sind definiert als die beim Menschen höchstzulässige Quantität eines Gefahrstoffes bzw. eines Gefahrstoffmetaboliten oder eines Beanspruchungsindikators, die nach dem gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Kenntnis im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt. BGW können als Konzentrationen bzw. als Bildungs- oder Ausscheidungsraten (Menge/Zeiteinheit) definiert sein; sie beziehen sich wie Arbeitsplatzgrenzwerte auf eine Arbeitszeit von acht Stunden täglich und 40 Stunden wöchentlich. In Spalte 10 der Liste weist der Eintrag BGW darauf hin, dass für den jeweiligen Stoff ein Biologischer Grenzwert festgelegt ist. BGW werden von der DFG-Senatskommission bzw. der Europäischen Kommission vorgeschlagen und nach Beratung durch den AGS in der TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“ veröffentlicht. Die aktuellen Werte sind in der Grenzwerteliste im Anhang 1 aufgeführt.

Eine der Voraussetzungen für die Aufstellung von BGW ist das Vorliegen ausreichender arbeitsmedizinischer und toxikologischer Erfahrungen beim Menschen. Da gegenwärtig für krebserzeugende Gefahrstoffe kein als unbedenklich anzusehender biologischer Wert angegeben werden kann, werden sie nicht mit Biologischen Grenzwerten belegt. Für krebserzeugende Gefahrstoffe, bei denen Stoff- bzw. Metabolitenkonzentrationen im biologischen Material einen Anhalt für die innere Belastung geben und bei denen eine Beziehung besteht zwischen der Stoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz und der Stoff- bzw. Metabolitenkonzentration im biologischen Material, werden jedoch von der DFG-Senatskommission EKA-Werte (Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe) aufgestellt. Ihnen kann entnommen werden, welche innere Belastung sich bei ausschließlich inhalativer Stoffaufnahme ergeben würde. EKA-Werte sind keine Grenzwerte gemäß der GefStoffV.

In Spalte 10 der Liste weist der Eintrag EKA darauf hin, dass für den jeweiligen Stoff ein EKA-Wert festgelegt ist. EKA-Werte werden in Abschnitt XIII der jährlich erscheinenden MAK- und BAT-Werte-Liste veröffentlicht.

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
AAT s. 2-Aminoazotoluol											
* Abamectin und Abamectin B1a [71751-41-2] [65195-55-3], 265-610-3			**3**								
Acetaldehyd [75-07-0], 200-836-8	**3**					91	50	1; =2=(I)	Y	DFG	
Acetamid [60-35-5], 200-473-5	**3**										
Acetanhydrid s. Essigsäureanhydrid											
Aceton [67-64-1], 200-662-2						1200	500	2(I)		EU, DFG (1994)	BGW
Acetonitril [75-05-8], 200-835-2						34	20	2(II)	H, Y	DFG (2003)	
Acetophenon, Formaldehyd, Cyclohexylamin, Methanol und Essigsäure, Reaktionsprodukt von 406-230-1	**3**				Sh						
Acetylaceton s. Pentan-2,4-dion											
Acetylentetrachlorid s. 1,1,2,2-Tetrachlorethan											
N-[2-(3-Acetyl-5-nitrothiophen-2-ylazo)-5-diethylaminophenyl]-acetamid [777891-21-1], 416-860-9				**3**	Sh						
Acridinorange s. N,N,N',N'-Tetramethylacridin-3,6-yldiaminhydrochlorid											
Acrolein s. Acrylaldehyd											
Acrylaldehyd [107-02-8], 203-453-4	–	–	–	–		0,2	0,09	2(I)	H	AGS (2007)	
Acrylamid [79-06-1], 201-173-7	**2**	**2**		**3**	Sh				H		
Acrylnitril [107-13-1], 203-466-5	**2**				Sh				H		EKA
Acrylsäure [79-10-7], 201-177-9						30	10	1(I)	Y, H	DFG (2007)	
Acrylsäure-n-butylester s. n-Butylacrylat											
Acrylsäureethylester s. Ethylacrylat											
Acrylsäure-2-ethylhexylester s. 2-Ethylhexylacrylat											
Acrylsäuremethylester s. Methylacrylat											
Adipinsäuredimethylester s. Dimethyladipat											
Aktinolith s. Asbest											
Alachlor [15972-60-8], 240-110-8	**3**				Sh						
Aldrin [309-00-2], 206-215-8	**3**					0,25 E		8(II)	H	DFG	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Allgemeiner Staubgrenzwert (siehe auch Nummer 2.4 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6) – Alveolengängige Fraktion – Einatembare Fraktion						 3 10		 2(II) 2(II)		 AGS (2006) AGS (2006)	
Allylalkohol [107-18-6], 203-470-7	–	–	–	–		4,8	2	2,5(I)	H	EU (1997)	
5-Allyl-1,3-benzodioxol [94-59-7], 202-345-4	**2**	**3**									
4-Allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)-phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-[6-[3-(4-allyl-2,6-bis-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy)-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy]-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)phenoxy)-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)-phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-(4-allyl-2,6-bis-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy)-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol, Gemisch aus 417-470-1		**3**			Sh						
Allylchlorid s. 3-Chlorpropen											
Allylglycidether s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
Allylglycidylether s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
1-Allyloxy-2,3-epoxypropan [106-92-3], 203-442-4	2 **3**	**3**	–	**3**	Sh				H		
Allylpropyldisulfid [2179-59-1], 218-550-7						12	2	1(I)		DFG	
Aluminium (als Metall) [7429-90-5], 231-072-3						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Aluminiumhydroxid [21645-51-2], 244-492-7						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Aluminiumoxid [1344-28-1;1302-74-5], 215-691-6						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Aluminiumoxid-Rauch [1344-28-1], 215-691-6						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Ameisensäure [64-18-6], 200-579-1						9,5	5	2(I)	Y	DFG, EU	
Ameisensäureethylester s. Ethylformiat											
Ameisensäuremethylester s. Methylformiat											
4-Aminoazobenzol [60-09-3], 200-453-6	**2**										
2-Aminoazotoluol (o-) (4-o-Tolylazo-o-toluidin) [97-56-3], 202-591-2	**2**				Sh				H		
2-Aminobiphenyl s. Biphenyl-2-ylamin											
4-Aminobiphenyl s. 4-Aminodiphenyl											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1-Amino-4-chlorbenzol s. 4-Chloranilin											
1-Amino-3-chlor-6-methylbenzol s. 5-Chlor-o-toluidin											
1-(2-Amino-5-chlorphenyl)-2,2,2-trifluor-1,1-ethandiol, Hydrochlorid; [Gehalt an 4-Chloranilin (EG-Nr. 203-401-0) < 0,1 %] [214353-17-0], 433-580-2	2										
2-Amino-4-chlortoluol s. 5-Chlor-o-toluidin											
2-Amino-5-chlortoluol s. 4-Chlor-o-toluidin											
4-Amino-2,3-dimethylazobenzol s. 2-Aminoazotoluol											
(R,S)-2-Amino-3,3-dimethylbutanamid [144177-62-8], 447-860-7				3	Sh						
4-Aminodiphenyl [92-67-1], 202-177-1 und seine Salze	1								H		
2-Aminoethanol [141-43-5], 205-483-3					Sh	5,1	2	2(I)	H, Y	DFG (1998)	
6-Amino-2-ethoxynaphthalin [CAS o. Angabe]	2										
2-(2-Aminoethylamino)ethanol [111-41-1], 203-867-5			2	3	Sh						
3-Amino-9-ethylcarbazol [132-32-1], 205-057-7	2										
4-Amino-3-fluorphenol [399-95-1], 402-230-0	2				Sh						
5-[(4-[(7-Amino-1-hydroxy-3-sulfo-2-naphthyl)azo]-2,5-diethoxyphenyl)azo]-2-[(3-phosphonophenyl)azo]benzoesäure und 5-[(4-[(7-Amino-1-hydroxy-3-sulfo-2-naphthyl)azo]-2,5-diethoxyphenyl)azo]-3-[(3-phosphonophenyl)azo]benzoesäure, Gemisch aus [163879-69-4], 418-230-9				3	Sh						
1-Amino-2-methoxy-5-methylbenzol s. p-Kresidin											
3-Amino-4-methoxytoluol s. p-Kresidin											
1-Amino-4-methylbenzol s. p-Toluidin											
2-Amino-2-methylpropanol [124-68-5], 204-709-8						4,6	1	2(I)		AGS (2007)	
1-Aminonaphthalin (α-) s. 1-Naphthylamin											
2-Aminonaphthalin (β-) s. 2-Naphthylamin											
2-Aminonaphthalin-1-sulfonsäure [81-16-3], 201-331-5						6 E		4(II)		AGS (1993)	
6-Aminonaphtholether s. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin											
4-Amino-2-nitrophenol s. 2-Nitro-4-aminophenol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)						Werte im bio-logischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Amino-4-nitrotoluol [99-55-8], 202-765-8 und -hydrochlorid [51085-52-0], 256-960-8	**3**	–	–	–					H		
2-Aminophenol [95-55-6], 202-431-1		**3**									
4-Aminophenol [123-30-8], 204-616-2		**3**			Sh						
p-Aminophenylether s. 4,4'-Oxydianilin											
2-Aminopropan [75-31-0], 200-860-9						12	5	=2=(I)	Y	DFG	
1-Aminopropan-2-ol (MIPA) [78-96-6], 201-162-7						5,8	2	2(I)		AGS (2007)	
5-Amino-o-toluidin s. 2,4-Toluylendiamin											
3-Amino-p-toluidin s. 2,4-Toluylendiamin											
4-Aminotoluol s. p-Toluidin											
3-Amino-1,2,4-triazol s. Amitrol											
Amitrol [61-82-5], 200-521-5			**3**			0,2 E		8(II)	Y, (H)	DFG	
Ammoniak [7664-41-7], 231-635-3						14	20	2(I)	Y	DFG, EU (2007)	
(6R-trans)-1-((7-Ammonio-2-carboxylato-8-oxo-5-thia-1-azabicyclo-[4.2.0]oct-2-en-3-yl) methyl)pyridiniumiodid [100988-63-4], 423-260-0		**3**			Sh						
2-{4-(2-Ammoniopropylamino)-6-[4-hydroxy-3-(5-methyl-2-methoxy-4-sulfamoylphenylazo)-2-sulfonatonaphth-7-ylamino]-1,3,5-triazin-2-ylamino}-2-aminopropylhydroformiat 424-260-3				**3**							
Ammonium-2-amino-4-(hydroxy-methylphosphinyl)butyrat s. Glufosinat-Ammonium (ISO)											
Ammoniumdichromat [7789-09-5], 232-143-1	**2**	**2**	**2**	**2**	S				H		
Ammoniumheptadecafluoroctan-sulfonat, Ammoniumperfluor-octansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
Amorphe Kieselsäuren s. Kieselsäuren, amorphe											
Amosit s. Asbest											
Amylacetat, tert s. 1,1-Dimethylpropylacetat											
Anabolika	3	–	2	1							
Androgene	3	–	2	1							
Androgene, schwache	–	–	3	3							
Androsta-1,4,9(11)-trien-3,17-dion [15375-21-0], 433-560-3				**3**							
Anilin [62-53-3], 200-539-3	**3**	**3**	–	–	Sh	7,7	2	2(II)	H, Y	DFG	BGW
Salze von Anilin	**3**	**3**			Sh				H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
o-Anisidin s. 2-Methoxyanilin											
Anon s. Cyclohexanon											
Anthophyllit s. Asbest											
Antimontrioxid (Diantimontrioxid) [1309-64-4], 215-175-0	**3**										
ANTU [86-88-4], 201-706-3	**3**								(H)		
Aromatenextrakte aus Erdöldestillat s. Extrakte											
Arprocarb s. Propoxur											
Arsenik s. Arsentrioxid											
Arsenige Säure [36465-76-6]	1										
Arsenpentoxid [1303-28-2], 215-116-9	**1**										
Arsensäure und ihre Salze (Arsenate) [7778-39-4], 231-901-9	**1**										
Arsentrioxid [1327-53-3], 215-481-4	**1**										
Arzneistoffe, krebserzeugende s. Abschnitt 1.2											
Arsenwasserstoff, Arsin [7784-42-1], 232-066-3						0,016	0,005	8(II)		AGS (2007)	
Asbest [1332-21-4] Chrysotil und Amphibol-Asbeste	**1**					s. Bemerk. 50			50	EU (2003)	
Atrazin [1912-24-9], 217-617-8					Sh	2 E		8(II)		DFG	
Auramin [492-80-8], 207-762-5 und seine Salze [a] Für Auramin und -hydrochlorid [2465-27-2]	**3** 2[a]	3[a]	–	–	–						
Auramin, Herstellung von s. Abschnitt 1.2	**1**										
Azafenidin 68049-83-2			**2**	**3**							
Azinphos-methyl [86-50-0], 201-676-1					Sh	0,2 E		8(II)	H	DFG	
Aziridin s. Ethylenimin											
Azobenzol [103-33-3], 203-102-5	**2**	**3**	–	–	–						
Azofarbstoffe s. Abschnitt 1.2	1 od. 2										
Azofarbstoffe auf Benzidinbasis	**2**										
Azofarbstoffe auf 3,3‘-Dimethoxybenzidinbasis	**2**										
Azofarbstoffe auf 3,3‘-Dimethylbenzidinbasis	**2**										
Azoimid s. Stickstoffwasserstoffsäure											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bariumverbindungen, löslich (außer Bariumoxid und Bariumhydroxid)						0,5 E		1(I)	13, 10, 15	EU (2007)	
Baumwollstaub						1,5 E		1(I)	4, Y	DFG	
BBP s. Benzylbutylphthalat											
Benfuracarb (ISO) [82560-54-1]				**3**							
Benomyl (ISO) [17804-35-2], 241-775-7		**2**	**2**	**2**	Sh						
Benz[e]acephenanthrylen s. Benz[b]fluoranthen											
Benzalchlorid s. α,α-Dichlortoluol											
Benz[a]anthracen [56-55-3], 200-280-6	**2**								(H)		
Benz[b]fluoranthen [205-99-2], 205-911-9	**2**								(H)		
Benzidin [92-87-5], 202-199-1 und seine Salze	**1**								H		
Benzo[d,e,f]chrysen s. Benzo[a]pyren											
Benzo[j]fluoranthen [205-82-3], 205-910-3	**2**								(H)		
Benzo[k]fluoranthen [207-08-9], 205-916-6	**2**								(H)		
Benzol [71-43-2], 200-753-7	**1**	**2**				s. Bemerk. 50			H, 50	EU (2003)	
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{6-8}-verzweigte Alkylester, C_7-reich [71888-89-6], 276-158-1	–	–	**2**	3							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{7-9}-verzweigte und lineare Alkylester [68515-41-3], 271-083-0	–	–	3	–							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{7-11}-verzweigte und lineare Alkylester [68515-42-4], 271-084-6	–	–	**2**	**3**							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{9-11}-verzweigte und lineare Alkylester [68515-43-5], 271-085-1	–	–	3	–							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester, verzweigt und linear [84777-06-0], 284-032-2 n-Pentyl-isopentylphthalat Di-n-pentylphthalat [131-18-0], 205-017-9 Diisopentylphthalat (DIPP) [605-50-5], 210-088-4			**2**	**2**							
α- und β-Benzolhexachlorid s. 1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan											
Benzol-1,2,4-tricarbonsäure-1,2-anhydrid (Rauch) [552-30-7], 209-008-0					S	0,04 A		1(I)		DFG	
Benzo[a]pyren [50-32-8], 200-028-5	**2**	**2**	**2**	**2**	Sh				(H)		EKA

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Benzo[e]pyren [192-97-2], 205-892-7	**2**										
Benzothiazol-2-thiol [149-30-4], 205-736-8					Sh	4 E			Y	DFG (2006)	
Benzotrichlorid s. α,α,α-Trichlortoluol											
Benzoylperoxid s. Dibenzoylperoxid											
Benzyl-n-butylphthalat [85-68-7], 201-622-7	–	–	**2**	**3**							
Benzylchlorid s. α-Chlortoluol											
Benzyl-2,4-dibrombutanoat [23085-60-1], 420-710-8				**3**	Sh						
Benzylidenchlorid s. α,α-Dichlortoluol											
Benzyl violet 4 B [1694-09-3], 216-901-9	**3**										
Bernsteinsäure, Monoperbernsteinsäure, Diperbernsteinsäure, Monomethylester von Bernsteinsäure, Monomethylester von Perbernsteinsäure, Dimethylsuccinat, Glutarsäure, Monoperglutarsäure, Diperglutarsäure, Monomethylester von Glutarsäure, Monomethylester von Perglutarsäure, Dimethylglutarat, Adipinsäure, Monoperadipinsäure, Diperadipinsäure, Monomethylester von Adipinsäure, Monomethylester von Peradipinsäure, Dimethyladipat, Hydrogenperoxid, Methanol und Wasser, Gemisch aus 432-790-1		**3**							H		
Bernsteinsäuredimethylester s. Dimethylsuccinat											
Beryllium [7440-41-7], 231-150-7 und seine Verbindungen *) Von der Einstufung ausgenommen sind Beryllium-Tonerdesilikate	**2***) R49				Sh						
Berylliumoxid [1304-56-9], 215-133-1	**2** R49				Sh						
BHC (ISO) s. HCH (ISO)											
Binapacryl (ISO) [485-31-4], 207-612-9			**2**						H		
2,2‘-Bioxiran s. 1,2,3,4-Diepoxybutan											
Biphenylether s. Diphenylether											
3,3‘,4,4‘-Biphenyltetramin s. 3,3‘-Diaminobenzidin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio-logischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Biphenyl-2-ylamin [90-41-5], 201-990-9	3										
Bis(4-aminophenyl)ether s. 4,4'-Oxydianilin											
Bis(p-aminophenyl)ether s. 4,4'-Oxydianilin											
(7-(4,6-Bis-(2-ammoniopropyl- amino)-1,3,5-triazin-2-ylamino)- 4-hydroxy-3-((2-methoxyphenyl)- azo)naphthalin-2-sulfonato)- monoformiat [108225-03-2], 402-060-7	2										
4,4'-Bis(N-carbamoyl-4-methyl- benzolsulfonamid)diphenyl- methan [151882-81-4], 418-770-5	3										
Bis-2-chlorethylether s. 2,2'-Dichlordiethylether											
Bis(2-chlorethyl)methylamin s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
Bis(2-chlorethyl)sulfid s. 2,2'-Dichlordiethylsulfid											
Bis-(1-((5-chlor-2-hydroxyphenyl)- azo)-2-naphthalinolat(2-))-chro- mat-1-tetradecanamin s. Tetradecylammoniumbis(1-(5- chlor-2-oxidophenylazo)-2- naphtholato)chromat(1-)											
Bis(chlormethyl)ether [542-88-1], 208-832-8	1								H		
Bis(cyclopenta-1,3-dienid-bis(2,6- difluor-3-(1H-pyrrol-1-yl)-pheno- lid)titan(IV) [125051-32-3], 412-000-1				3							
6,6'-Bis(diazo-5,5',6,6'-tetra- hydro-5,5'-dioxo) [methylenbis(5-(6-diazo-5,6- dihydro-5-oxo-1- naphthylsulphonyloxy)-6-methyl- 2-phenylen]di(naphthalen-1- sulfonat) 441-550-5	3										
[4[4,4'-Bis(dimethylamino)-benz- hydryliden]cyclohexa-2,5-dien- 1-ylidene]dimethyl-ammonium- chlorid s. C.I.Basic violet 3											
4,4'-Bis(dimethylamino)- benzophenon s. Michlers Keton											
Bis[4-(dimethylamino)- phenyl]methanon s. Michlers Keton											
Bis(dimethylthiocarbamoyl)- disulfid s. Thiram											
1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)benzol s. Diglycidylresorcinether											
S-[1,2-Bis(ethoxycarbonyl)ethyl]- O,O-dimethyldithiophosphat s. Malathion											
Bis(2-ethylhexyl)phthalat [117-81-7], 204-211-0	–	–	2	2		10		8(II)	Y	DFG	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4-[[Bis-(4-fluorphenyl)methylsilyl]-methyl]-4H-1,2,4-triazol; 1-[[Bis-(4-fluorphenyl)-methylsilyl]methyl]-1H-1,2,4-triazol, Gemisch aus 403-250-2	**3**		**2**								
Bis(4-fluorphenyl)(methyl)(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)silan s. Flusilazol											
Bis(hydroxylammonium)sulfat Hydroxylaminsulfat (2:1) [10039-54-0], 233-118-8	**3**				Sh				H		
2,5-(und 2,6-)Bis(isocyanatomethyl)bicyclo[2.2.1]heptan 411-280-2					S	0,045	0,005			AGS (2007)	
4,7-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol, 4,8-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol und 5,7-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol, Gemisch aus 427-050-1				**3**	Sh						
1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan) [112-49-2], 203-977-3	–	–	**2**	2 **3**							
Bis(2-methoxyethyl)ether [111-96-6], 203-924-4			**2**	**2**		28	5	8(II)	H, Z	DFG (1996)	
Bis(2-methoxyethyl)ether s. Diethylenglykoldimethylether											
Bis(2-methoxyethyl)phthalat [117-82-8], 204-212-6			**2**	**3**							
Bis-2-methoxypropylether s. Dipropylenglykolmonomethylether											
Bis(pentabromphenyl)ether [1163-19-5], 214-604-9	3	–	–	–							
Bisphenol A s. 4,4'-Isopropylidendiphenol											
Bis[4-(phenylazo)benzol-1,3-diamin]sulfat s. Chrysoidinmonohydrochlorid											
Bis(tributylzinn)oxid [56-35-9], 200-268-0			3	2		0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
1,3-Bis(vinylsulfonylacetamido)-propan [93629-90-4], 428-350-3		**3**			Sh						
4,4'-Bi-o-toluidin s. 3,3'-Dimethylbenzidin											
Blausäure s. Cyanwasserstoff											
Blei [7439-92-1], 231-100-4			1	3		s. Bemerk. 50			50	EU	BGW
Bleiacetat, basisch [1335-32-6], 215-630-3	**3**		**1**	**3**		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleialkyle, Cn = 1-5			**1**	**3**		s. -tetraethyl s. -tetramethyl			H		
Bleiazid [13424-46-9], 236-542-1			**1**	**3**		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleichromat [7758-97-6], 231-846-0	**2**		**1**	**3**		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleichromatmolybdatsulfatrot [12656-85-8], 235-759-9	**2**		**1**	**3**		s. Bleiverbindungen					BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bleidi(acetat) [301-04-2], 206-104-4			1	3		s. Blei-verbindungen					BGW
Bleihexafluorsilikat [25808-74-6], 247-278-1			1	3		s. Blei-verbindungen					BGW
Bleihydrogenarsenat [7784-40-9], 232-064-2	1		1	3		s. Blei-verbindungen					BGW
Blei(II)methansulfonat [17570-76-2]			1	3		s. Blei-verbindungen					BGW
Bleisulfochromatgelb [1344-37-2], 215-693-7	2		1	3		s. Blei-verbindungen					BGW
Bleitetraethyl [78-00-2], 201-075-4			1	3		0,05		2(II)	Z, H, 10	DFG (1996)	BGW
Bleitetramethyl [75-74-1], 200-897-0			1	3		0,05		2(II)	Z, H, 10	DFG (1997)	BGW
Blei-2,4,6-trinitroresorcinat [15245-44-0], 239-290-0			1	3		s. Blei-verbindungen					BGW
Bleiverbindungen mit Ausnahme der namentlich genannten			1	3		s. Bemerk. 50 anorg. Verb.			50	EU	BGW
Borsäure und Natriumborate [10043-35-3], 233-139-2			2	2		0,5		2(I)	Y, 10	AGS (2007)	
Bortrifluorid [7637-07-2], 231-569-5						1	0,35	2(II)	Y	AGS (2007)	
Bortrifluorid-Dihydrat [13319-75-0], 231-569-5						1,5	0,35	2(II)	Y	AGS (2007)	
Brom [7726-95-6], 231-778-1						0,7	0,1	1(I)		EU, AGS (2007)	
Bromchlortrifluorethan s. Halothan											
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan s. Halothan											
Bromethan [74-96-4], 200-825-8	2 3								(H)		
Bromethen (Bromethylen) [593-60-2], 209-800-6	2										
Brommethan [74-83-9], 200-813-2	–	3	–	–							
1-Brom-2-methylpropylpropionat [158894-67-8], 422-900-6	3				Sh						
(R)-5-Brom-3-(1-methyl-2-pyrrolidinylmethyl)-1H-indol [143322-57-0], 422-390-5				3	Sh						
Bromoform s. Tribrommethan											
Bromoxynil [1689-84-5], 216-882-7			3		Sh						
Bromoxynil-Heptanoat [56634-95-8], 260-300-4			3		Sh						
Bromoxyniloctanoat s. 2,6-Dibrom-4-cyanphenyl-octanoat											
1-Brompropan [106-94-5], 203-445-0	–	–	3	2					(H)		EKA
2-Brompropan [75-26-3], 200-855-1				1							
1-Brom-3,4,5-trifluorbenzol [138526-69-9], 418-480-9	3										
Bromtrifluormethan (R13B1) [75-63-8], 200-887-6						6 200	1 000	8(II)	Y	DFG (1993)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bromwasserstoff s. Hydrogenbromid											
Buchenholzstaub s. Abschnitt 1.2	**1**					s. Bemerk. 50			50	EU	
1,3-Butadien [106-99-0], 203-450-8	**1**	**2**									EKA
n-Butan [106-97-8], 203-448-7						2 400	1 000	4(II)		DFG	
iso-Butan [75-28-5], 200-857-2						2 400	1 000	4(II)		DFG	
Butanal s. Butyraldehyd											
1,4-Butandiol [110-63-4], 203-786-5						200	50	4(II)		AGS (1995)	
1-Butanol (n-) [71-36-3], 200-751-6						310	100	1(I)	Y	DFG	BGW
iso-Butanol [78-83-1], 201-148-0						310	100	1(I)	Y	DFG	
tert-Butanol s. 2-Methyl-2-propanol											
Butanon [78-93-3], 201-159-0			–			600	200	1(I)	H, Y	DFG (1998)	BGW
2-Butanonoxim [96-29-7], 202-496-6	**3**				Sh				H		
Butansulfon s. 1,4-Butansulton											
1,4-Butansulton [1633-83-6], 216-647-9	3										
2,4-Butansulton [1121-03-5], 214-325-2	2										
δ-Butansulton s. 1,4-Butansulton											
Butan-1-thiol [109-79-5], 203-705-3						1,9	0,5	2(II)	Y	DFG	
2-Butenal [123-73-9], 204-647-1 [4170-30-3], 224-030-0	–	**3**	–	–					H		
1,2-Butenoxid s. 1,2-Epoxybutan											
* But-2-in-1,4-diol [110-65-6], 203-788-6					Sh	0,36	0,1	1(I)	H, Y, 11	DFG (2012)	
Butoxydiethylenglykol, -acetat s. Butyldiglykol, -acetat											
1-n-Butoxy-2,3-epoxypropan [2426-08-6], 219-376-4	**3**	2 **3**			Sh				H		
1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan [7665-72-7], 231-640-0	–	3	–	–	–				H		
* 2-Butoxyethanol [111-76-2], 203-905-0						49	10	4(II)	H, Y	AGS (2012)	BGW
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol s. Butyldiglykol											
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat s. Butyldiglykolacetat											
* 2-Butoxyethylacetat [112-07-2], 203-933-3						130	20	4(II)	H, Y	DFG	BGW
* n-Butylacetat [123-86-4], 204-658-1						300	62	2(I)	Y	AGS (2012)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
iso-Butylacetat s. Isobutylacetat											
* sec-Butylacetat [105-46-4], 203-300-1						300	62	2(I)	Y	AGS (2012)	
* tert-Butylacetat [540-88-5], 208-760-7						200	42	2(II)	Y	AGS (2012)	
n-Butylacrylat [141-32-2], 205-480-7					Sh	11	2	2(I)	Y	DFG	
Butylalkohol (n-, sec-, tert- oder iso-) s. Butanol											
* 4-tert-Butylbenzoesäure [98-73-7], 202-696-3				**2**		2 E		2(II)	H	DFG (2006)	
N-Butyl-1-butanamin s. Di-n-butylamin											
n-Butylchlorformiat [592-34-7], 209-750-5						1,1	0,2	2(I)	Y	DFG (2006)	
n-Butylchlorid s. 1-Chlorbutan											
Butyldiglykol [2-(2-Butoxy-ethoxy)ethanol] [112-34-5], 203-961-6						67	10	1,5(I)	Y, 11	EU, DFG (2011)	
Butyldiglykolacetat [124-17-4], 204-685-9						67	10	1,5(I)	Y	DFG (2011)	
5-tert-Butyl-3-[2,4-dichlor-5-(prop-2-ynyloxy)phenyl]-1,3,4-oxadiazol-2(3H)-on s. Oxadiargyl											
4'-tert-Butyl-2',6'-dimethyl-3',5'-dinitroacetophenon [81-14-1], 201-328-9	**3**	–	–	–							
2-tert-Butyl-4,6-dinitrophenol s. Dinoterb											
2-sec-Butyl-4,6-dinitrophenyl-3-methylcrotonat s. Binapacryl											
1,2-Butylenoxid s. 1,2-Epoxybutan											
Butylglycidether n-Butylglycidylether s. 1-n-Butoxy-2,3-epoxypropan											
tert-Butylglycidylether s. 1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan											
Butylglykol s. 2-Butoxyethanol											
Butylglykolacetat s. 2-Butoxyethylacetat											
Butylmercaptan s. Butanthiol											
* tert-Butyl-4-methoxyphenol [25013-16-5], 246-563-8						20 E		1(II)	Y, 11	DFG (2012)	
(tert-Butyl)methylether [1634-04-4], 216-653-1						180	50	1,5(I)	Y	DFG (2003)	
4-tert-Butylphenol (p-) [98-54-4], 202-679-0						0,5	0,08	2(II)	H	DFG	BGW
2-(4-tert-Butylphenoxy)-cyclohexylprop-2-ynylsulfit s. Propargit											
2-(4-tert-Butylphenyl)ethanol [5406-86-0], 410-020-5				**3**							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
cis-4-[3-(p-tert-Butylphenyl)-2-methylpropyl]-2,6-dimethylmorpholin [67564-91-4], 266-719-9			**3**								
Butyl-2-[4-[[5-(trifluormethyl)-2-pyridyl]oxy]phenoxy]propionat s. Fluazifop-butyl											
Butyl-(R)-2-[4-[[5-(trifluormethyl)-2-pyridyl]oxy]phenoxy]propionat s. Fluazifop-P-butyl											
5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m-xylol [81-15-2], 201-329-4	**3**	–	–	–							
Butyraldehyd [123-72-8], 204-646-6						64	20	1(I)		AGS (1993)	
2-Butyryl-3-hydroxy-5-thiocyclohexan-3-yl-cyclohex-2-en-1-on [94723-86-1], 425-150-8				**2**	Sh						
5-(3-Butyryl-2,4,6-trimethylphenyl)-2-[1-(ethoxyimino)-propyl]-3-hydroxycyclohex-2-en-1-on) [138164-12-2], 414-790-3			**3**	**3**							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Cadmium [7440-43-9], 2311528 und seine Verbindungen *) bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole, ausgenommen die namentlich aufgeführten	2*)								(H)		
Cadmium (pyrophor und stabilisiert)	2	3	3	3							
Cadmiumchlorid [10108-64-2], 233-296-7	2	2	2	2							
Cadmiumfluorid [7790-79-6], 232-222-0	2	2	2	2							
Cadmiumoxid [1306-19-0], 215-146-2	2	3	3	3							
Cadmiumsulfat [10124-36-4], 233-331-6	2	2	2	2							
Cadmiumsulfid [1306-23-6], 215-147-8	2	3	3	3							
Calciumarsenat s. Arsensäuresalze											
Calciumcarbimid s. Calciumcyanamid											
Calciumchromat [13765-19-0], 237-366-8	2								(H)		
Calciumcyanamid [156-62-7], 205-861-8						1 E		2(II)	H, Y	DFG	
Calciumsalicylate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert); Calciumphenate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert); geschwefelte Calciumphenate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert), Gemisch aus 415-930-6				3	Sh						
Calciumsulfat [7778-18-9], 231-900-3						6 A				DFG (1990)	
Camphechlor [8001-35-2], 232-283-3	3								H		
ε-Caprolactam [105-60-2], 203-313-2						5 E		2(I)	11, Y	DFG (1990)	
Captafol (ISO) [2425-06-1], 219-363-3	2				Sh						
Captan (ISO) [133-06-2], 205-087-0	3				Sh						
Carbadox (INN) [6804-07-5], 229-879-0	2										
Carbamidsäureethylester s. Ethylcarbamat											
Carbanil s. Phenylisocyanat											
Carbaryl [63-25-2], 200-555-0	3					5 E		4(II)	H	DFG	
9H-Carbazol-3-amino-9-ethyl s. 3-Amino-9-ethylcarbazol											
Carbendazim (ISO) [10605-21-7], 234-232-0		2	2	2							
4,4‘-Carbonimidoylbis(N,N-dimethylanilin) und seine Salze s. Auramin											
Carbonylchlorid s. Phosgen											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Chinolin s. Quinolin											
Chinomethionat [2439-01-2], 219-455-3				**3**	Sh				H		
Chlor [7782-50-5], 231-959-5						1,5	0,5	1(I)	Y	DFG	
2-Chloracetaldehyd [107-20-0], 203-472-8	**3**	–	–	–					H		
2-Chloracetamid [79-07-2], 201-174-2	–	–	–	**3**	Sh				(H)		
Chloracetamid-N-methylol s. N-Methylol-chloracetamid											
Chloralkane C10-13 [85535-84-8], 287-476-5	**3**										
* Chloralkane, C_{14-17} (Chlorierte Paraffine (C_{14-17})) [85535-85-9], 287-477-0						6 E	0,3 E	8(II)	H, Y, 11	AGS (2011)	
γ-Chlorallylchlorid s. 1,3-Dichlorpropen											
2-Chlorallyldiethyl-dithio-carbamat s. Sulfallat											
cis-1-(3-Chlorallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadamantanchlorid [51229-78-8], 426-020-3			**3**		Sh						
Chlorameisensäurebutylester s. Butylchlorformiat											
Chlorameisensäuremethylester s. Methylchlorformiat											
4-Chlor-2-aminotoluol s. 5-Chlor-o-toluidin											
5-Chlor-2-aminotoluol s. 4-Chlor-o-toluidin											
4-Chloranilin (p-) [106-47-8], 203-401-0	**2**				Sh				H		
* Chlorbenzol [108-90-7], 203-628-5						47	10	2(II)	Y	DFG (1997)	BGW
4-Chlorbenzotrichlorid (p-) [5216-25-1], 226-009-1	**2**	–	–	2 **3**					H		
(1RS,5RS;1RS,5SR)-5-(4-Chlor-benzyl)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)cyclopentanol s. Metconazol (ISO)											
2-Chlor-1,3-butadien [126-99-8], 204-818-0	**2**	–	–	–					H		
1-Chlorbutan [109-69-3], 203-696-6						95,5	25	1(I)		AGS (1993)	
Chlordan [57-74-9], 200-349-0	**3**					0,5 E		8(II)	H	DFG	
Chlordecone [143-50-0], 205-601-3	**3**								H		
(2-Chlor-3-diethylamino-1-methyl-3-oxoprop-1-enyl)-dimethylphosphat s. Phosphamidon											
2-Chlor-2‘,6‘-diethyl-N-(methoxymethyl)acetanilid s. Alachlor											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1-Chlor-1,1-difluorethan (R 142 b) [75-68-3], 200-891-8						4 200	1 000	8(II)		DFG (1990)	
Chlordifluormethan (R 22) [75-45-6], 200-871-9						3 600			9	EU (1997)	
2-Chlor-1-(difluormethoxy)-1,1,2-trifluorethan s. 2-Chlor-1,1,2-trifluorethyl-difluormethylether											
5-Chlor-1,3-dihydro-2H-indol-2-on [17630-75-0], 412-200-9				3	Sh						
Chlordimeform (ISO) [6164-98-3], 228-200-5	3								H		
Chlordimeformhydrochlorid [19750-95-9], 243-269-1	3										
Chlordimethylether s. Monochlordimethylether											
Chlor-N,N-dimethylformiminium-chlorid [3724-43-4], 425-970-6			2								
Chlordioxid [10049-04-4], 233-162-8						0,28	0,1	1(I)		DFG	
1-Chlor-2,3-epoxypropan (Epichlorhydrin) [106-89-8], 203-439-8 [51594-55-9], 424-280-2	2				Sh				H		
Chloressigsäure [79-11-8], 201-178-4						4	1	1(I)	H	AGS (1996)	
Chloressigsäureethylester s. Ethylchloracetat											
Chloressigsäuremethylester s. Methylchloracetat											
Chlorethan [75-00-3], 200-830-5	3					110	40	2(II)	(H)	AGS (2007)	
2-Chlorethanol [107-07-3], 203-459-7						3,3	1	1(II)	H, Y	DFG	
Chlor-1-ethylcyclohexylcarbonat [99464-83-2], 444-950-8		3			Sh						
(2-Chlorethyl)(3-hydroxypropyl)-ammoniumchlorid [40722-80-3], 429-740-6	2	2			Sh						
6-(2-Chlorethyl)-6-(methoxy-ethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6-si-laundecan [37894-46-5], 253-704-7			2								
3-Chlor-4-(3-fluorbenzyloxy)-anilin [202197-26-0], 445-590-4		3									
Chlorfluormethan (R 31) [593-70-4], 209-803-2	2										
2-Chlor-6-fluorphenol [2040-90-6], 433-890-8		2		3	Sh						
N-Chlorformylmorpholin s. Morpholin-4-carbonylchlorid											
2-Chlor-N-hydroxymethyl-acetamid s. N-Methylol-chloracetamid											
(3-Chlor-2-hydroxypropyl)-trimethylammoniumchlorid [3327-22-8], 222-048-3	3	–	–	–							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Chlorierte Biphenyle (42 % Chlor) [53469-21-9]	3		2	2		1,1	0,1	8(II)	H, Z	DFG	
Chlorierte Biphenyle (54 % Chlor) [11097-69-1]	3		2	2		0,7	0,05	8(II)	H, Z	DFG	
Chloriertes Camphen s. Camphechlor											
Chlormethan [74-87-3], 200-817-4	**3**					100	50	2(II)	H, Z	DFG	
Chlormethyl s. Chlormethan											
3-Chlor-6-methylanilin s. 5-Chlor-o-toluidin											
Chlormethylmethylether s. Monochlordimethylether											
3-Chlor-2-methylpropen [563-47-3], 209-251-2	3				Sh						
1-Chlor-2-nitrobenzol [88-73-3], 201-854-9	3	–	–	3					H		
1-Chlor-4-nitrobenzol [100-00-5], 202-809-6	**3**	**3**	–	–					H		
6-Chloro-N,N'-diethyl-1,3,5-triazin-2,4-diamin s. Simazin											
Chloroform s. Trichlormethan											
2-Chloropren s. 2-Chlor-1,3-butadien											
Chlorothalonil s. Chlorthalonil											
(2RS, 3RS; 2RS, 3SR)-2-(4-Chlorphenyl)-3-cyclopropyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol) s. Cyproconazol											
3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethylharnstoff s. Monuron (ISO)											
1-(4-Chlorphenyl)-4,4-dimethyl-3-(1,2,4-triazol-1-ylmethyl) pentan-3-ol [107534-96-3], 403-640-2			**3**								
3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyluronium-trichloracetat [140-41-0]	**3**										
(2RS, 3RS)-3-(2-Chlorphenyl)-2-(4-fluorphenyl)-[(1H-1,2,4-triazol-1-yl)methyl]oxiran [133855-98-8], 406-850-2	**3**		**3**	**3**							
4-[(3-Chlorphenyl)(1H-imidazol-1-yl)methyl]-1,2-benzoldiamindihydrochlorid [159939-85-2], 425-030-5				**3**	Sh						
(3-Chlorphenyl)-(4-methoxy-3-nitrophenyl)methanon [66938-41-8], 423-290-4		**3**									
Chlorpikrin s. Trichlornitromethan											
3-Chlorpropen [107-05-1], 203-457-6	**3**	**3**							H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
3-Chlor-1-propen s. 3-Chlorpropen											
Chlorpropham (ISO) [101-21-3], 202-925-7	**3**										
Chlorpyrifos (ISO) [2921-88-2], 220-864-4						0,2			H	AUS-NL (1997)	
Chlorthalonil [1897-45-6], 217-588-1	**3**				Sh						
4-Chlor-o-toluidin [95-69-2], 202-441-6 und -hydrochlorid [3165-93-3], 221-627-8	1 **2**	**3**	–	–					H		
5-Chlor-o-toluidin [95-79-4], 202-452-6	3										
α-Chlortoluol [100-44-7], 202-853-6, s. auch α-Chlortoluole	**2**	3	3	–					(H)		
Chlortoluole: Gemisch aus α-Chlortoluol [100-44-7], α,α-Dichlortoluol [98-87-3], α,α,α-Trichlortoluol [98-07-7]	1								(H)		
Chlortoluron [15545-48-9], 239-592-2	**3**		**3**								
3-(3-Chlor-p-tolyl)-1,1-dimethyl-harnstoffe s. Chlortoluron											
N-(4-Chlor-o-tolyl)-N‘,N‘-dimethylformamidin s. Chlordimeform											
4-Chlor-1-trichlormethylbenzol s. 4-Chlorbenzotrichlorid											
2-Chlor-1,1,2-trifluor-ethyldifluormethylether s. Enfluran											
Chlortrifluormethan (R 13) [75-72-9], 200-894-4						4 300	1 000	8(II)		DFG (1990)	
Chlorwasserstoff [7647-01-0], 231-595-7						3	2	2(I)	Y	DFG (2006)	
Chlozolinate [84332-86-5], 282-714-4	**3**										
Chrom [7440-47-3], 231-157-5 und anorganische Chrom(II) und (III)-Verbindungen						2 E		1(I)	10	EU (2007)	
Chrom-III-chromate („Chromic-chromate“) [24613-89-6], 246-356-2	**2**				Sh						
Chromdioxiddichlorid s. Chromoxychlorid											
Chromdioxychlorid s. Chromoxychlorid											
Chromgelb s. Bleichromat											
Chromoxychlorid [14977-61-8], 239-056-8	**2** R49	**2**			Sh						
Chromsäure (Anhydrid) s. Chromtrioxid											
Chromsäureanhydrid s. Chromtrioxid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Chromtrioxid [1333-82-0], 215-607-8	1	2		3	Sh				H		
Chrom(VI)-Verbindungen ausgenommen sind Bariumchromat sowie namentlich genannte Verbindungen	2 R49				S						
Chromylchlorid s. Chromoxychlorid											
Chrysen [218-01-9], 205-923-4	2	3							(H)		
Chrysoidin [495-54-5], 207-803-7	–	3									
Chrysoidinmonohydrochlorid, 4-Phenylazophenylen-1,3-diaminmonohydrochlorid [532-82-1], 208-545-8 Chrysoidinmonoacetat, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin-monoacetat [75660-25-2], 278-290-5 Chrysoidinacetat, 4-(Phenylazo)-benzol-1,3-diaminacetat [79234-33-6], 279-116-0 Chrysoidin-p-dodecylbenzol-sulfonat, Dodecylbenzolsulfonsäure, Verbindung mit 4-(Phenylazo)-benzol-1,3-diamin (1:1) [63681-54-9], 264-409-8 Chrysoidindihydrochlorid, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamindi-hydrochlorid [83968-67-6], 281-549-5 Chrysoidinsulfat, Bis[4-(phenyl-azo)benzol-1,3-diamin]sulfat [84196-22-5], 282-432-1		3									
Chrysoidin-C_{10-14}-Alkylderivate Benzolsulfonsäure, Mono-C_{10-14}-alkylderivate, Verbindungen mit 4-(Phenylazo)-1,3-benzol-diamin [85407-90-5], 286-946-7 Chrysoidin, Verbindung mit Dibutylnaphthalinsulfonsäure, Dibutylnaphthalinsulfonsäure, Verbindung mit 4-(Phenylazo)-benzol-1,3-diamin (1:1) [94247-67-3], 304-236-8		3									
C.I. Basic Red 9 [569-61-9], 209-321-2	2	–	–	–							
C.I. Basic Violet 3 [548-62-9], 208-953-6	3	–	–	–							
C.I. Direct Black 38 [1937-37-7], 217-710-3	2		3								
C.I. Direct Blue 6 [2602-46-2], 220-012-1	2		3								
C.I. Direct Blue 218 [73070-37-8], 277-272-4	3	–	–	–							
C.I. Direct Red 28 [573-58-0], 209-358-4	2		3								
C.I. Disperse Blue 1 s. 1,4,5,8-Tetraaminoanthra-chinon											
C.I. Disperse Yellow 3 s. N-[4-[(Hydroxy-5-methyl-phenyl)azo]phenyl]acetamid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Cinerin I [25402-06-6], 246-948-0 s. Pyrethrum											
Cinerin II [121-20-0], 204-454-2 s. Pyrethrum											
Cinidonethyl (ISO) [142891-20-1]	**3**				Sh						
C.I. Pigment gelb 157 s. Nickel-Barium-Titan-Primel-Priderit											
C.I. Pigment schwarz 25 s. Cobalt-Nickel-Gray-Periklas unter Nickelverbindungen											
C.I. Solvent Yellow 14 [842-07-9], 212-668-2	**3**	**3**	–	–	Sh						
Clofenotan s. DDT											
Cobalt [7440-48-4], 231-158-0, bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole) ausgenommen Hartmetalle, cobalthaltige Spinelle und organische Sikkative	3	–	–	–	S				(H)		EKA
Cobaltverbindungen,bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole) ausgenommen Hartmetalle, cobalthaltige Spinelle und organische Sikkative	3	–	–	–					(H)		
Cobaltacetat [71-48-7], 200-755-8 Cobaltacetat-Tetrahydrat [6147-53-1]	**2** R49	**3**	–	**2**	S				(H)		
Cobaltcarbonat [513-79-1], 208-169-4	**2** R49	**3**	–	**2**	S				(H)		
Cobaltdichlorid [7646-79-9], 231-589-4	**2** R49	**3**	–	**2**	S				(H)		
Cobaltnitrat [10141-05-6], 233-402-1 Cobaltnitrat-Hexahydrat [10026-22-9]	**2** R49	**3**	–	**2**	S				(H)		
Cobaltoxid [1307-96-6], 215-154-6 bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole)	3	–	–	–	Sh				(H)		
Cobaltsulfat [10124-43-3], 233-334-2 – Heptahydrat [10026-24-1]	**2** R49	**3**	–	**2**	S				(H)		
Cobaltsulfid [1317-42-6], 215-273-3 bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole)	3	–	–	–	Sh				(H)		
Colchicin [64-86-8], 200-598-5		**2**									
p-Cresidin s. p-Kresidin											
Cresylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
Cristobalit [14464-46-1], 238-455-4 s. Quarz											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Crotonaldehyd s. 2-Butenal											
Cryofluoran (R 114) [76-14-2], 200-937-7						7 100	1 000	8(II)		DFG	
s. 1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan											
Cumol [98-82-8], 202-704-5						100	20	2,5(I)	H, Y	EU (2006)	BGW
Cyanacrylsäuremethylester [137-05-3], 205-275-2						9,2	2	1(I)		DFG	
* Cyanamid [420-04-2], 206-992-3					Sh	0,35 E	0,2	1(II)	H, Y	DFG (2012)	
4-Cyan-2,6-diiodo-phenyl-octanoat [3861-47-0], 223-375-4			**3**		Sh						
α-Cyan-4-fluor-3-phenoxybenzyl-3-(2,2-dichlorvinyl)-2,2-dimethylcyclopropancarboxylat s. Cyfluthrin											
Cyanide [als CN berechnet)										DFG	
* Cyclohexan [110-82-7], 203-806-2	–	–	–	–		700	200	4(II)		DFG (1998)	BGW
Cyclohexanon [108-94-1], 203-631-1	–					80	20	1(I)	H, Y	AGS (1996)	
Cycloheximid [66-81-9], 200-636-0		**3**	**2**								
Cyclohexylamin [108-91-8], 203-629-0				**3**					H		
N-Cyclohexyl-N-methoxy-2,5-dimethyl-3-furamid [60568-05-0], 262-302-0	**3**										
trans-4-Cyclohexyl-L-prolinmono-hydrochlorid [90657-55-9], 419-160-1				**3**	Sh						
1-Cyclopropyl-6,7-difluor-1,4-dihydro-4-oxochinolin-3-carbonsäure [93107-30-3], 413-760-7				**3**							
5-Cyclopropyl-1,2-oxazol-4-yl-α,α,α-trifluor-2-mesyl-p-tolylketon s. Isoxaflutole											
Cyfluthrin [68359-37-5], 269-855-7						0,01 E		1(I)	Y	DFG (2006)	
Cyproconazol [94361-06-5]			**3**								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-D [94-75-7], 202-361-1					Sh	1 E		8(II)	5, Y	DFG (1996)	
Salze und Ester der 2,4-D					Sh	1 E		8(II)	5, Y, H	DFG (1996)	
DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlor-phenyl)ethan) [50-29-3], 200-024-3	**3**								H		
DDVP s. Dichlorvos											
Decaboran [17702-41-9], 241-711-8						0,25	0,05	2(II)	H	DFG	
Decabromphenylether s. Bis(pentabromphenyl)ether											
Decachlorpentacyclo-[5.2.1.0^{2,6}.0^{3,9}.0^{5,8}]-decan-4-on s. Chlordecon											
Decachlortetracyclodecanon s. Chlordecon											
DEHP s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											
Demeton [8065-48-3]						0,1	0,01		H	AUS-NL	
Demetonmethyl [8022-00-2]						4,8	0,5	2(II)	H	DFG	
Diacetonalkohol s. 4-Hydroxy-4-methylpentan-2-on											
N,N'-Diacetylbenzidin [613-35-4], 210-338-2	**2**	**3**							H		
Diallat (ISO) [2303-16-4], 218-961-1	**3**										
2,4-Diaminoanisol [615-05-4], 210-406-1 und 2,4-Diaminoanisolsulfat [39156-41-7], 254-323-9	**2**	**3**							H		
3,3'-Diaminobenzidin [91-95-2], 202-110-6, Salze von 3,3'-Diaminobenzidin	**2** 3	**3**							H		
1,2-Diaminobenzol s. o-Phenylendiamin											
1,3-Diaminobenzol s. m-Phenylendiamin											
1,4-Diaminobenzol s. p-Phenylendiamin											
4,4'-Diamino-3,3'-dichlor-diphenylmethan s. 4,4'-Methylen-bis(2-chlor-anilin)											
4,4'-Diaminodiphenyl s. Benzidin											
4,4'-Diaminodiphenylether s. 4,4'-Oxydianilin											
4,4'-Diaminodiphenylmethan [101-77-9], 202-974-4	**2**	**3**			Sh				H		
4,4'-Diaminodiphenylsulfid s. 4,4'-Thiodianilin											
3,8-Diamino-1-ethyl-6-phenyl-phenantridiniumbromid s. Ethidiumbromid											
1,3-Diamino-4-methylbenzol s. 2,4-Toluylendiamin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,5-Diaminonaphthalin s. 1,5-Naphthylendiamin											
Diaminotoluol s. Methylphenylendiamin											
2,4-Diaminotoluol s. 2,4-Toluylendiamin											
Diammonium-1-hydroxy-2-(4-(4-carboxyphenylazo)-2,5-dimethoxyphenylazo)-7-amino-3-naphthalinsulfonat 422-670-7				**3**							
o-Dianisidin s. 3,3'-Dimethoxybenzidin											
Diantimontrioxid s. Antimontrioxid											
Diarsenpentaoxid s. Arsenpentoxid											
Diarsentrioxid s. Arsentrioxid											
Diazinon [333-41-5], 206-373-8						0,1 E		2(II)	H, Y	DFG (1997)	
Diazomethan [334-88-3], 206-382-7	**2**										
Dibasische Ester (DBE) (Gemische aus Dimethyladipat, Dimethylglutarat und Dimethyl-succinat)						8	1,2	2(I)	Y	AGS (2011)	
Dibenz(a,h)anthracen [53-70-3], 200-181-8	**2**								(H)		
Dibenz[b,e](1,4)dioxin s. 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin											
Dibenzodioxin, chloriert s. 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin											
Dibenzoylperoxid [94-36-0], 202-327-6					Sh	5 E		1(I)		DFG	
Dibortrioxid [1303-86-2], 215-125-8			**2**	**2**							
Dibrom s. Naled											
1,2-Dibrom-3-chlorpropan [96-12-8], 202-479-3	**2**	**2**	–	**1**					(H)		
2,6-Dibrom-4-cyanphenyl-octanoat [1689-99-2], 216-885-3			**3**		Sh						
2,6-Dibrom-4-cyanphenyl-Heptanoat s. Bromoxynil-Heptanoat											
1,2-Dibrom-2,2-dichlorethyl-dimethylphosphat s. Naled											
1,2-Dibromethan [106-93-4], 203-444-5	**2**								(H)		
3,5-Dibrom-4-hydroxy-benzonitril s. Bromoxynil (ISO)											
2,2-Dibrom-2-nitroethanol [69094-18-4], 412-380-9	**3**				Sh						
2,3-Dibrompropan-1-ol [96-13-9], 202-480-9	**2**	–	–	**3**					H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Di-n-butylamin [111-92-2], 203-921-8						29	5	1(I)	H, 6	AGS (1993)	
* 2,6-Di-tert-butyl-p-kresol [128-37-0], 204-881-4						10 E		4(II)	Y, 11	DFG (2012)	
N,N-Di-n-butylnitrosamin s. N-Nitrosodi-n-butylamin											
* Di-tert-butylperoxid [110-05-4], 203-733-6		**3**									
Di-n-butylphthalat [84-74-2], 201-557-4	–	–	**2**	**3** 2		0,58	0,05	2(I)	Y	DFG (2011)	
Dibutylzinndichlorid [683-18-1], 211-670-0		**3**	**2**	**2**					H		
Dibutylzinnhydrogenborat [75113-37-0], 401-040-5		**3**	**2**	**2**	Sh				H		
Dichloracetylen [7572-29-4]	**3** 2										
S-2,3-Dichlorallyldiiso- propylthiocarbamat s. Diallat											
3,3‘-Dichlorbenzidin [91-94-1], 202-109-0 und seine Salze	**2**				Sh				H		
1,2-Dichlorbenzol (o-) [95-50-1], 202-425-9						61	10	2(II)	H, Y	DFG (2003)	BGW
1,3-Dichlorbenzol (m-) 541-73-1], 208-792-1						12	2	2(II)	Y	AGS (2010)	
1,4-Dichlorbenzol (p-) 106-46-7], 203-400-5	**3**	–				6	1	2(II)	H, Y	AGS (2009)	BGW EKA
2,2‘-[(3,3‘-Dichlor[1,1‘-biphenyl]-4,4‘-diyl)bis(azo)]bis[N-(2,4-dimethylphenyl)]-3-oxobutan-amid; 2-[[3,3‘-Dichlor-4‘-[[1[[(2,4-dimethylphenyl)amino]carbonyl]-2-oxopropyl]azo][1,1‘-biphenyl]-4-yl]azo]-N-(2-methylphenyl)-3-oxobutanamid; 2-[[3,3‘-Dichlor-4‘-[[1[[(2,4-di-methylphenyl)amino]carbonyl]-2-oxopropyl]azo][1,1‘-biphenyl]-4-yl]azo]-N-(2-carboxylphenyl)-3-oxobutanamid, Gemisch aus 434-330-5	**3**				Sh						
1,4-Dichlor-2-buten [764-41-0], 212-121-8	**2**								H		
2,2‘-Dichlordiethylether [111-44-4], 203-870-1	**3**					59	10	1(I)	H	DFG	
2,2‘-Dichlordiethylsulfid [505-60-2]	1								(H)		
Dichlordifluormethan (R 12) [75-71-8], 200-893-9						5 000	1 000	2(II)	Y	DFG	
Dichlordimethylether s. Bis(chlormethyl)ether											
1,1’-Dichlordimethylether s. Bis(chlormethyl)ether											
3,5-Dichlor-N-(1,1-dimethylprop-2-inyl)benzamid [23950-58-5], 245-951-4	**3**										
1,1-Dichlorethan [75-34-3], 200-863-5						410	100	2(II)	Y	DFG	
1,2-Dichlorethan [107-06-2], 203-458-1	**2**								(H)		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,1-Dichlorethen [75-35-4], 200-864-0	**3**					8	2	2(II)	Y	DFG	
1,2-Dichlorethen sym. [540-59-0], 208-750-2 (cis- [156-59-2] und trans- [156-60-5])						800	200	2(II)		DFG	
Dichlorethin s. Dichloracetylen											
1,2-Dichlorethylen s. 1,2-Dichlorethen											
1,2-Dichlorethylmethylether s. 1,2-Dichlormethoxyethan											
α,β-Dichlorethylmethylether s. 1,2-Dichlormethoxyethan											
Dichlorfluormethan (R 21) [75-43-4], 200-869-8						43	10	2(II)		DFG	
α-Dichlorhydrin s. 1,3-Dichlor-2-propanol											
Dichlormethan [75-09-2], 200-838-9	**3**					260	75	4(II)		AGS (2007)	BGW EKA
1,2-Dichlormethoxyethan [41683-62-9]	–	3	–	–					(H)		
Dichlormethylbenzol s. Dichlortoluol (Isomerengemisch)											
1,3-Dichlor-4-methylbenzol s. 2,4-Dichlortoluol											
2,2'-Dichlor-N-methyldiethylamin s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
2,2'-Dichlor-4,4'-methylendianilin s. 4,4'-Methylen-bis(2-chlor- anilin)											
Dichlorodiphenyltrichlorethan s. DDT											
2,4-Dichlorphenoxyessigsäure s. 2,4-D											
3-(3,4-Dichlorphenyl)-1,1- dimethylharnstoff s. Diuron											
3-(3,5-Dichlorphenyl)-2,4- dioxo-N-isopropylimidazolidin- 1-carboxamid [36734-19-7], 253-178-9	**3**										
1-[4-[4-[[(2SR,4RS)-2-(2,4- Dichlorphenyl)-2-(imidazol-1- ylmethyl)-1,3-dioxolan-4-yl]- methoxy]phenyl]piperazin-1-yl]- ethanon s. Ketoconazol											
3-(3,4-Dichlorphenyl)-1-methoxy- 1-methylharnstoff s. Linuron (ISO)											
N-3,5-Dichlorphenyl-5-methyl- 5-vinyl-1,3-oxazolidin-2,4-dion s. Vinclozolin											
2,4-Dichlorphenyl-4-nitro- phenylether s. Nitrofen											
1,3-Dichlor-2-propanol [96-23-1], 202-491-9	**2**								H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio-logischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
E,Z-1,3-Dichlorpropen [542-75-6], 208-826-5 (gilt nur für das technische Gemisch)	2	3	–	–	Sh				H		
2,3-Dichlorpropen [78-88-6], 201-153-8		**3**							H		
3-[2,4-Dichlor-5-(2-propynyloxy)-phenyl]-5-(1,1-dimethylethyl)-1,3,4-oxadiazol-2(3H)-on s. Oxadiargyl											
2,4‘-Dichlor-α-(pyrimidin-5-yl)-benzhydrylalkohol s. Fenarimol											
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan s. Cryofluoran (R 114)											
α,α-Dichlortoluol [98-87-3], 202-709-2 s. auch α-Chlortoluole	**3**								(H)		
Dichlortoluol (Isomerengemisch, ringsubstituiert) [29797-40-8], 249-854-8						30	5	4(II)	H	AGS (1995)	
2,4-Dichlortoluol [95-73-8], 202-445-8						30	5	4(II)	H	AGS (1995)	
2,2-Dichlor-1,1,1-trifluorethan (R 123) [306-83-2], 206-190-3	3	–	–	–							
(2,2-Dichlorvinyl)dimethyl-phosphat s. Dichlorvos											
Dichlorvos [62-73-7], 200-547-7					Sh	1	0,11	2(II)	H, Y	DFG	
Dicyclohexylnitrosamin [947-92-2]	–	3	–	–							
Dicyclopentadien (3a,4,7,7a-Tetrahydro-4,7-methanoinden) [77-73-6], 201-052-9						2,7	0,5	1(I)		DFG	
Dieisentrioxid s. Eisen(III)oxid											
Dieldrin (HEOD) [60-57-1], 200-484-5	**3**					0,25 E		8(II)	H	DFG	
1,2,3,4-Diepoxybutan [1464-53-5], 215-979-1	**2**	**2**	–	3					H		
1,3-Di(2,3-epoxypropoxy)benzol s. Diglycidylresorcinether											
Dieselmotor-Emissionen s. Abschnitt 1.2	2										
Diethanolaminperfluoroctansul-fonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
N,N-Diethanolnitrosamin s. N-Nitrosodiethanolamin											
1,2-Diethoxyethan [629-14-1], 211-076-1			**2**	**3**							
Diethylamin [109-89-7], 203-716-3						15	5	=2=(I)	H, 6	EU, DFG (1999)	
2-Diethylaminoethanol [100-37-8], 202-845-2						24	5	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Diethylcarbamidsäurechlorid [88-10-8], 201-798-5	**3**										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diethylendioxid s. 1,4-Dioxan											
Diethylenglykol [111-46-6], 203-872-2						44	10	4(II)	Y	DFG (1997)	
Diethylenglykoldimethylether s. Bis(2-methoxyethyl)ether											
Diethylenglykol-monobutylether s. Butyldiglykol											
Diethylether [60-29-7], 200-467-2						1200	400	1(I)		DFG	
Di-(2-ethylhexyl)phthalat s. Bis(2-ethylhexyl)phthalat											
O,O-Diethyl-O-(4-nitrophenyl)-thiophosphat s. Parathion											
N,N-Diethylnitrosamin s. N-Nitrosodiethylamin											
Diethylsulfat [64-67-5], 200-589-6	**2**	**2**							H		
1,1-Difluorethen (R 1132a) [75-38-7], 200-867-7	3										
1,1-Difluorethylen s. 1,1-Difluorethen											
Difluormonochlorethan s. 1-Chlor-1,1-difluorethan											
Difluormonochlormethan s. Monochlordifluormethan											
Diglycidylether [2238-07-5], 218-802-6	3								(H)		
1,3-Diglycidyloxybenzol s. Diglycidylresorcinether											
Diglycidylresorcinether 1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)benzol [101-90-6], 202-987-5	2 **3**	**3**			Sh				H		
Diglyme s. Diethylenglykoldimethylether											
Di-iso-heptylphthalat s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C6-8-verzweigte Alkylester											
N,N'-Dihexadecyl-N,N'-bis(2-hydroxyethyl)propandiamid [149591-38-8], 422-560-9				**3**							
Dihydrogenselenid (Selenwasserstoff) [7783-07-5], 231-978-9						0,05	0,015	2(I)	Y	DFG (2007)	
N-[6,9-Dihydro-9-[[2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethoxy]methyl]-6-oxo-1H-purin-2-yl]acetamid [84245-12-5], 424-550-1	**2**	**2**	**2**	**2**							
(S)-2,3-Dihydro-1H-indol-2-carbonsäure [79815-20-6], 410-860-2				**3**	Sh						
(E)-4,5-Dihydro-6-methyl-4-(3-pyridylmethylenamino)-1,2,4-triazin-3(2H)-on s. Pymetrozin											
1,2-Dihydro-5-nitro-acenaphthylen s. 5-Nitroacenaphthen											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,3-Dihydroxybenzol (Resorcin) [108-46-3], 203-585-2					Sh	20 E	4	1(I)	Y, H	AGS (2007)	
1,4-Dihydroxybenzol [123-31-9], 204-617-8	3	3	–	–	Sh				(H)		
4-[4-(1,3-Dihydroxyprop-2-yl)-phenylamino]-1,8-dihydroxy-5-nitroanthrachinon [114565-66-1], 406-057-1	3				Sh						
Diisobutylphthalat [84-69-5], 201-553-2			2	3							
m-Diisocyanattoluol [26471-62-5], 247-722-4	3				S	0,035	0,005	1; =4=(I)	12	AGS (2003)	
2,4-Diisocyanattoluol [584-84-9], 209-544-5	3				S	0,035	0,005	1; =4=(I)	12	AGS (2003)	
2,6-Diisocyanattoluol [91-08-7], 202-039-0	3				S	0,035	0,005	1; =4=(I)	12	AGS (2003)	
Di-(isooctyl)phthalat s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											
Diisopentylphthalat (DIPP) s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Diisopropanolamin mit Formaldehyd (1:4), Reaktionsprodukte von [220444-73-5], 432-440-8	3				Sh						
Di-isopropylether [108-20-3], 203-560-6						850	200	2(I)		DFG (2003)	
N,N-Diisopropylnitrosamin s. N-Nitrosodi-i-propylamin											
3,3‘-Dimethoxybenzidin [119-90-4], 204-355-4 und seine Salze	2								H		
1,2-Dimethoxyethan [110-71-4], 203-794-9	–	–	2	2							
Dimethoxymethan [109-87-5], 203-714-2						3 200	1 000	2(II)	Y	DFG	
N,N-Dimethylacetamid [127-19-5], 204-826-4	–	–	2	3		36	10	2(II)	H, Y	DFG, EU (1997)	BGW
Dimethyladipat [627-93-0], 211-020-6						8	1,2	2(I)	Y	AGS (2011)	
Dimethylamin [124-40-3], 204-697-4						3,7	2	2(I)	6	EU, DFG (1994)	
4,4‘-Dimethylaminobenzophenonimid-Hydrochlorid s. Auramin											
(E)-3-[1-[4-[2-(Dimethylamino)-ethoxy]phenyl]-2-phenylbut-1-enyl]phenol [82413-20-5], 428-010-4	3			2	Sh						
α-[4-(4-Dimethylamino-{4-[ethyl-(3-natriosulfonatobenzyl)-amino]-phenyl} benzyliden)-cyclohexa-2,5-dienyliden-(ethyl)-ammonio]-toluol-3-sulfonat s. Benzyl violet 4B											
Dimethylaminosulfochlorid, Dimethylaminosulfonylchlorid s. Dimethylsulfamoylchlorid											
N,N-(Dimethylamino)thioacetamid-hydrochlorid [27366-72-9], 435-470-1			2								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
N,N-Dimethylanilin [121-69-7], 204-493-5	**3**	–	–	–		25	5	2(II)	H	DFG	
2,4-Dimethylanilin s. 2,4-Xylidin											
N,N-Dimethylaniliniumtetrakis-(pentafluorphenyl)borat [118612-00-3], 422-050-6	**3**										
3,3'-Dimethylbenzidin [119-93-7], 204-358-0 und seine Salze	**2**								H		
1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium s. Paraquatdichlorid											
2,2-Dimethylbutan [75-83-2], 200-906-8						1800	500	2(II)		DFG (2010)	
2,3-Dimethylbutan [79-29-8], 201-193-6						1800	500	2(II)		DFG (2010)	
Dimethylcarbamidsäurechlorid [79-44-7], 201-208-6	**2**								(H)		
Dimethylcarbamoylchlorid s. Dimethylcarbamidsäurechlorid											
3,3'-Dimethyl-4,4'-diaminodiphenylmethan (Methylendi-o-toluidin) [838-88-0], 212-658-8	**2**				Sh				H		
Dimethylether [115-10-6], 204-065-8						1 900	1 000	8(II)		DFG	
* N,N-Dimethylformamid [68-12-2], 200-679-2			**2**			15	5	2(II)	Z, H	DFG, AGS, EU (2011)	BGW
Dimethylglutarat [1119-40-0], 214-277-2						8	1,2	2(I)	Y	AGS (2011)	
Dimethylglykol s. 1,2-Dimethoxyethan											
1,1-Dimethylhydrazin [57-14-7], 200-316-0	**2**								H		
1,2-Dimethylhydrazin [540-73-8]	**2**								H		
Dimethylhydrogenphosphit [868-85-9], 212-783-8	3										
Dimethylhydrogenphosphonat s. Dimethylhydrogenphosphit											
Dimethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat; Diethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat; Methylethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat, Gemisch aus 435-960-3	**2**	**2**			Sh						
N,N-Dimethylisopropylamin [996-35-0], 213-635-5						3,6	1	2(I)		DFG (2006)	
Dimethyl-1-methyl-2-(methylcarbamoyl)-vinylphosphat s. Monocrotophos											
N,N-Dimethylnitrosamin s. N-Nitrosodimethylamin											
Dimethylphosphit, Dimethylphosphonat s. Dimethylhydrogenphosphit											
Dimethylpropan [463-82-1], 207-343-7						3 000	1 000	2(II)		DFG, EU	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,1-Dimethylpropylacetat [625-16-1]						270	50	1(I)		EU, DFG (1998)	
Dimethylpropylenharnstoff s. Tetrahydro-1,3-dimethyl-1H-pyrimidin-2-on											
Dimethylsuccinat [106-65-0], 203-419-9						8	1,2	2(I)	Y	AGS (2011)	
Dimethylsulfamoylchlorid [13360-57-1], 236-412-4	**2**								H		
Dimethylsulfat [77-78-1], 201-058-1	**2**	**3**	–	–	Sh				H		
2,6-Dimethyl-4-tridecylmorpholin s. Tridemorph											
Dimoxystrobin (ISO) [149961-52-4]	**3**		**3**								
Dinatrium-{5-[(4'-((2,6-dihydroxy-3-((2-hydroxy-5-sulfophenyl)azo)-phenyl)azo)(1,1'-biphenyl)-4-yl)-azo]salicylato-(4-)}cuprat(2-) [16071-86-6], 240-221-1	**2**										
Dinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxycarbonyl-5-hydroxy-1-(4-sulfonatophenyl)-pyrazol-4-yl)-penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)-benzolsulfonat und Trinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxycarbonyl-5-oxido-1-(4-sulfonatophenyl)pyrazol-4-yl)-penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxo-pyrazol-1-yl)benzolsulfonat, Gemisch aus 402-660-9			**2**								
Dinatriumtetraborat, wasserfrei [1330-43-4], 215-540-4 -Decahydrat [1303-96-4], 215-540-4 -Pentahydrat [12179-04-3], 215-540-4			**2**	**2**		0,5		2(I)	Y, 10	AGS (2007)	
4,6-Dinitro-o-kresol (DNOC) [534-52-1], 208-601-1		**3**			Sh				H		
Dinitronaphthaline (alle Isomeren) [27478-34-8], 248-484-4	3										
Dinitrotoluole (techn. Gemisch) [25321-14-6], 246-836-1	**2**	**3**	–	**3**					H		
2,3-Dinitrotoluol [602-01-7], 210-013-5	**2**	**3**		**3**					H		
2,4-Dinitrotoluol [121-14-2], 204-450-0	**2**	**3**		**3**					H		
2,5-Dinitrotoluol [619-15-8], 210-581-4	**2**	**3**		**3**					H		
2,6-Dinitrotoluol [606-20-2], 210-106-0	**2**	**3**		**3**					H		
3,4-Dinitrotoluol [610-39-9], 210-222-1	**2**	**3**		**3**					H		
3,5-Dinitrotoluol [618-85-9], 210-566-2	**2**	**3**		**3**					H		
Dinocarb [39300-45-3], 254-408-0			**2**		Sh						
Dinoseb; 6-(1-Methyl-propyl)-2,4-dinitrophenol [88-85-7], 201-861-7			**2**	**3**					H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Dinoseb, Salze und Ester			2	3					H		
Dinoterb [1420-07-1], 215-813-8			2						H		
Dinoterb, Salze und Ester			2						H		
Di-sec-octylphthalat s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											
Di-n-octylzinnverbindungen s. Zinnverbindungen, org.											
Dioxacyclopentan s. 1,3-Dioxolan											
Dioxan s. 1,4-Dioxan											
1,4-Dioxan [123-91-1], 204-661-8	3					73	20	2(I)	H, Y	EU, DFG (2001)	
Dioxathion (ISO) [78-34-2], 201-107-7						0,2			H	AUS-NL (1997)	
1,3-Dioxolan [646-06-0], 211-463-5						310	100	2(II)	H, Z	DFG (2007)	
Di-n-pentylphthalat s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Diphenylether (Dampf) [101-84-8], 202-981-2						7,1	1	1(I)	Y	DFG	
Diphenylether, Octabromderivat s. Octabromdiphenylether											
1,3-Diphenylguanidin [102-06-7], 203-002-1				3							
Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat s. 2,2'-Methylendiphenyldiisocyanat											
Diphenylmethan-2,4'-diisocyanat s. 2,4'-Methylendiphenyldiisocyanat											
Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat s. 4,4'-Methylendiphenyldiisocyanat											
* Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphinoxid [75980-60-8], 278-355-8				3							
Diphosphorpentasulfid [1314-80-3], 215-242-4						1		4(I)	13	EU (2007)	
Diphosphorpentoxid s. Phosphorpentoxid											
DIPP s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Dipropylenglykol s. Oxydipropanol											
Dipropylenglykolmonomethylether [34590-94-8], 252-104-2 (Isomerengemisch)						310	50	1(I)		DFG, EU (1997)	
N,N-Di-n-propylnitrosamin s. N-Nitrosodi-n-propylamin											
Direct Blue 218 s. C.I. Direct Blue 218											
Distickstoffmonoxid [10024-97-2], 233-032-0						180	100	2(II)	Y	DFG (1994)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Disulfiram [97-77-8], 202-607-8					Sh	2 E		8(II)	6	DFG	
Diuron (ISO) [330-54-1], 206-354-4	**3**										
Divanadiumpentaoxid s. Vanadiumpentoxid											
DNOC s. 4,6-Dinitro-o-kresol											
Dodecachlorpentacyclo- [5.2.1.$0^{2,6}$.$0^{3,9}$.$0^{5,8}$]decan s. Mirex											
Dodecan-1-ol [112-53-8], 203-982-0						155	20	1(I)		AGS (2006)	
DOP s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Echtgranat-GBC-base s. 2-Aminoazotoluol											
Eichenholzstaub s. Abschnitt 1.2	1 R49					s. Bemerk. 50			50	EU	
Eisen(II)-oxid [1345-25-1], 215-721-8						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Eisen(III)-oxid [1309-37-1], 215-168-2						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
* Endrin (ISO) [72-20-8], 200-775-7						0,05 E		8(II)	H, Y	DFG (2012)	
Enfluran [13838-16-9], 237-553-4						150	20	8(II)	Y	DFG (1996)	
Epichlorhydrin s. 1-Chlor-2,3-epoxypropan											
EPN, O-Ethyl-O-(4-nitrophenyl)-phenylthiophosphonat [2104-64-5], 218-276-8						0,5 E		2(II)	H	DFG	
1,2-Epoxy-3-allyloxypropan s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
1,2-Epoxybutan [106-88-7], 203-438-2	2 **3**								H		
1,2-Epoxy-4-(epoxyethyl)-cyclohexan s. 1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan											
(Epoxyethyl)benzol s. Styroloxid											
1-(Epoxyethyl)-3,4-epoxycyclohexan [106-87-6], 203-437-7	2 **3**								H		
2,3-Epoxy-1,4,5,6,7,8,8-heptachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoindan s. Heptachlorepoxid											
1,2-Epoxy-3-isopropoxypropan s. iso-Propylglycidylether											
1,2-Epoxy-3-phenoxypropan s. Phenylglycidylether											
1,2-Epoxypropan (Propylenoxid) [75-56-9], 200-879-2	**2**	**2**			Sh				H		EKA
2,3-Epoxy-1-propanol s. Glycidol											
2,3-Epoxypropyl-o-tolylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
2,3-Epoxypropyltrimethylammoniumchlorid s. Glycidyltrimethylammoniumchlorid											
1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan (alle Isomeren) [26447-14-3], 247-711-4	3	**3**			Sh						EKA
Erionit [12510-42-8]	**1**										
Essigsäure [64-19-7], 200-580-7						25	10	2(I)	Y	DFG (2007)	
Essigsäureamylester s. Pentylacetat											
Essigsäureanhydrid [108-24-7], 203-564-8						21	5	1(I)		DFG	
Essigsäureethylester s. Ethylacetat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio-logischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Essigsäuremethylester s. Methylacetat											
Essigsäurevinylester s. Vinylacetat											
Estrogene	3	–	3	1							
Estrogene, schwache	–	–	3	3							
Etacelasil s. 6-(2-Chlorethyl)-6-(2-methoxy-ethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan											
Ethanal s. Acetaldehyd											
Ethandial s. Glyoxal											
1,2-Ethandiol s. Ethylenglykol											
3-(1,2-Ethandiylacetale)-estra-5(10),9(11)-dien-3,17-dion, zyklisch [5571-36-8], 427-230-8				**2**							
Ethanol [64-17-5], 200-578-6						960	500	2(II)	Y	DFG (2003)	
Ethanolamin s. 2-Aminoethanol											
Ethanthiol [75-08-1], 200-837-3						1,3	0,5	2(II)		DFG	
Ethen [74-85-1], 200-815-3	–	3	–	–							EKA
O,O'-(Ethenylmethylsilylen)di[(4-methylpentan-2-on)oxim] 421-870-1				**3**							
Ether s. Diethylether											
Ethidiumbromid [1239-45-8], 214-984-6		**3**									
2-Ethoxy-6-aminonaphthalin s. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin											
4-Ethoxyanilin [156-43-4], 205-855-5		**3**			Sh				H		
4'-Ethoxy-2-benzimidazolanilid [120187-29-3], 407-600-5		**3**									
2-Ethoxyethanol [110-80-5], 203-804-1			**2**	**2**		7,6	2	8(II)	Z, H	EU, DFG (2010)	BGW
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol [111-90-0], 203-919-7						35	6	2(I)	Y	AGS (2007)	
2-Ethoxyethylacetat [111-15-9], 203-839-2			**2**	**2**		10,8	2	8(II)	Z, H	EU, DFG (2010)	BGW
2-Ethoxy-1-methylethylacetat [54839-24-6], 259-370-9						300	50	2(II)	Y, 14	DFG (2007)	
(4-Ethoxyphenyl)(3-(4-fluor-3-phenoxyphenyl)propyl)-dimethylsilan [105024-66-6], 405-020-7				**2**							
1-Ethoxypropan-2-ol, 1-Ethoxy-2-propanol [1569-02-4], 216-374-5						220	50	2(II)	H, Y, 14	DFG (2007)	
1-Ethoxy-2-propylacetat s. 2-Ethoxy-1-methylethylacetat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4-thiadiazol [2593-15-9], 219-991-8	**3**								H		
Ethylacetat [141-78-6], 205-500-4						1500	400	2(I)	Y	DFG	
Ethylacrylat [140-88-5], 205-438-8					Sh	21	5	2(I)	H, Y	DFG	
Ethylalkohol s. Ethanol											
Ethylamin [75-04-7], 200-834-7						9,4	5	=2=(I)		DFG, EU (1999)	
* Ethylbenzol [100-41-4], 202-849-4						88	20	2(II)	H, Y	DFG(2012)	BGW
Ethylbromid s. Bromethan											
Ethylcarbamat (Urethan) [51-79-6], 200-123-1	**2**								(H)		
Ethylchloracetat [105-39-5], 203-294-0					S	5	1	1(I)	H	AGS (1996)	
Ethylchlorid s. Chlorethan											
Ethyl-(RS)-3-(3,5-dichlorphenyl)-5-methyl-2,4-dioxooxazolidin-5-carboxylat s. Chlozolinate											
Ethyl-1-(2,4-dichlorphenyl)-5-(trichlormethyl)-1H-1,2,4-triazol-3-carboxylat [103112-35-2], 401-290-5	**2**										
Ethylen s. Ethen											
Ethylenbromid s. 1,2-Dibromethan											
Ethylenchlorhydrin s. 2-Chlorethanol											
Ethylenchlorid s. 1,2-Dichlorethan											
Ethylendibromid s. 1,2-Dibromethan											
2,2‘-(Ethylendioxy)diethanol [112-27-6], 203-953-2						1000 E		2(II)	Y	DFG (2007)	
Ethylenglykol (Ethandiol) [107-21-1], 203-473-3						26	10	2(I)	H, Y	DFG (1992)	
Ethylenglykoldinitrat (Glykoldinitrat) [628-96-6], 211-063-0						0,32	0,05	1(II)	7, H	DFG	BGW
Ethylenglykolmonobutylether s. 2-Butoxyethanol											
Ethylenglykolmonobutyletheracetat s. 2-Butoxyethylacetat											
Ethylenglykolmonoethylether s. 2-Ethoxyethanol											
Ethylenglykolmonoethyletheracetat s. 2-Ethoxyethylacetat											
Ethylenglykolmonomethylether s. 2-Methoxyethanol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Ethylenglykolmonomethyletheracetat s. 2-Methoxyethylacetat											
Ethylenimin [151-56-4], 205-793-9	**2**	**2**							H		
Ethylenoxid [75-21-8], 200-849-9	**2**	**2**							H		
Ethylenthioharnstoff [96-45-7], 202-506-9	3	–	**2**								
Ethylether s. Diethylether											
Ethyl-3-ethoxypropionat [763-69-9], 212-112-9						610	100	1(I)	H, Y	DFG (2007)	
Ethylformiat [109-94-4], 203-721-0						310	100	1(I)	Y, H	DFG	
Ethylglykol s. 2-Ethoxyethanol											
Ethylglykolacetat s. 2-Ethoxyethylacetat											
2-Ethylhexan-1-ol [104-76-7], 203-234-3						110	20	1(I)	Y	DFG (2007)	
2-Ethylhexansäure [149-57-5], 205-743-6			**3**								
2-Ethylhexylacrylat [103-11-7], 203-080-7					Sh	38	5	1(I)	Y	DFG (2009)	
2-Ethylhexyl-[[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]-methyl]thio]acetat [80387-97-9], 279-452-8			**2**		Sh						
2-Ethylhexyl-2-ethylhexanoat [7425-14-1], 231-057-1			**3**								
Ethylidenchlorid s. 1,1-Dichlorethan											
Ethylmercaptan s. Ethanthiol											
Ethylmethylketon s. 2-Butanon											
Ethylmethylketoxim s. 2-Butanonoxim											
3-Ethyl-2-methyl-2-(3-methylbutyl)-1,3-oxazolidin [143860-04-2], 421-150-7				**2**							
4-Ethyl-4-methylmorpholiniumbromid [65756-41-4], 418-210-1		**3**									
1-Ethyl-1-methylpyrrolidiniumbromid [69227-51-6], 418-200-5		**3**									
O-Ethyl-O-(4-nitrophenyl)-phenylthiophosphonat s. EPN											
N-Ethyl-N-nitrosoanilin s. N-Nitrosoethylphenylamin											
N-Ethyl-N-nitrosoethanamin s. N-Nitrosodiethylamin											
S-Ethyl-1-perhydroazepinthioat s. Molinat											
2-Ethylphenylhydrazinhydrochlorid [19398-06-2], 421-460-2	**3**				Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Ethylurethan s. Ethylcarbamat											
Etridiazol s. 5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4-thiadiazol											
Extrakte (Erdöl), leichte naphthenhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-03-6], 265-102-1	2										
Extrakte (Erdöl), leichte paraffinhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-05-8], 265-104-2	2										
Extrakte (Erdöl), leichtes Vakuum-Gasöl-Lösungsmittel [91995-78-7], 295-341-7	2										
Extrakte (Erdöl), schwere naphthenhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-11-6], 265-111-0	2										
Extrakte (Erdöl), schwere Paraffinhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-04-7], 265-103-7	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Faserstäube, anorganische, krebserzeugend Kat. 1, 2 u. 3 (außer Asbest) s. Abschnitt 1.2											
Fenarimol [60168-88-9], 262-095-7			3	3							
Fenpropimorph s. cis-4-[3-(p-tert-Butylphenyl)-2-methylpropyl]-2,6-dimethylmorpholin											
Fenthion [55-38-9], 200-231-9		3				0,2 E		2(II)	H	DFG	
Fentinacetat [900-95-8], 212-984-0	3		3						H		
Fentinhydroxid [76-87-9], 200-990-6	3		3						H		
Fluazifop-butyl [69806-50-4], 274-125-6			2								
Fluazifop-P-butyl [79241-46-6]			3								
Flumioxazin [103361-09-7]			2								
Fluor [7782-41-4], 231-954-8						1,6	1	2(I)	13	EU (2007)	
N-(7-Fluor-3,4-dihydro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl)cyclohex-1-en-1,2-dicarboxamid s. Flumioxazin											
1-(4-Fluor-5-hydroxymethyl-tetrahydrofuran-2-yl)-1H-pyrimidin-2,4-dion [41107-56-6], 415-360-8		3									
Fluoride (als Fluor berechnet) [16984-48-8]						1 E		4(II)	Y, H	DFG (2007)	BGW
Fluortrichlormethan s. Trichlorfluormethan											
Fluorwasserstoff [7664-39-3], 231-634-8						0,83	1	2(I)	Y, H	DFG (2007)	BGW
Flusilazol [85509-19-9]	3		2								
Folpet s. N-(Trichlormethylthio)-phthalimid											
Forchlorfenuron (ISO) [68157-60-8]	3										
Formaldehyd [50-00-0], 200-001-8	3				Sh				H		
Formamid [75-12-7], 200-842-0			2						H		
* Fuberidazol (ISO) [3878-19-1], 223-404-0	3				Sh						
2-Furaldehyd s. 2-Furylmethanal											
Furan [110-00-9], 203-727-3	2	3	–	–					(H)		
Furfural, Furfurol s. 2-Furylmethanal											
Furfurylalkohol [98-00-0], 202-626-1	3					41	10	1(I)	H	DFG (1993)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Furmecyclox s. N-Cyclohexyl-N-methoxy-2,5-dimethyl-3-furamid											
2-Furylmethanal [98-01-1], 202-627-7	**3**	–	–	–	Sh				H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Gestagene	3	–	2	1							
Gestagene, schwache	–	–	3	3							
Glucocorticoide	–	–	1	3							
Glufosinat-Ammonium (ISO) [77182-82-2], 278-636-5			**3**	**2**					H		
Glutaral [111-30-8], 203-856-5					S	0,2	0,05	2(I)	Y	DFG (2010)	
Glutaraldehyd Glutardialdehyd s. Glutaral											
Glutarsäuredimethylester s. Dimethylglutarat											
Glycerin-α,γ-dichlorhydrin s. 1,3-Dichlor-2-propanol											
* Glycerintrinitrat [55-63-0], 200-240-8						0,094	0,01	1(II)	H, Y	DFG (2012)	
Glycidol (2,3-Epoxy-1-propanol) [556-52-5], 209-128-3 [57044-25-4], 404-660-4	**2**	**3**	–	**2**					H		
6-Glycidyloxynaphth-1-yl-oxymethyloxiran [27610-48-6], 429-960-2		**3**			Sh				H		
Glycidyltrimethylammonium-chlorid [3033-77-0], 221-221-0	**2**	**3**	–	**3**	Sh				H		
Glykol s. Ethylenglykol											
Glykoldinitrat s. Ethylenglykoldinitrat											
Glyoxal [107-22-2], 203-474-9		**3**			Sh				(H)		
Graphit [7782-42-5; 7440-44-0], 231-955-3						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Grotan HD s. N-Methylol-chloracetamid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Halothan [151-67-7], 205-796-5			2	–		41	5	8(II)	Z	DFG	BGW
HCH (ISO) [608-73-1], 210-168-9	**3**					0,5 E		8(II)	H, 8	DFG	
HDI s. Hexamethylen-1,6-diisocyanat											
Hempa s. Hexamethylphosphor-säuretriamid											
HEOD s. Dieldrin											
* Heptachlor [76-44-8], 200-962-3	**3**					0,05 E		8(II)	H	DFG, AGS (2012)	
Heptachlorepoxid [1024-57-3], 213-831-0	**3**										
1,4,5,6,7,8,8-Heptachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoinden s. Heptachlor (ISO)											
Heptadecafluoroctan-1-sulfon-säure s. Perfluoroctansulfonsäure											
Heptan (alle Isomeren)						2 100	500	1(I)		DFG	
Heptan-2-on [110-43-0], 203-767-1						238		2(I)	H	EU (1997)	
Heptan-3-on [106-35-4], 203-388-1						47	10	2(I)		DFG (2003)	
* Hexabromcyclododecan [25637-99-4], 247-148-4			**3**								
* 1,2,5,6,9,10-Hexabromcyclodo-decan [3194-55-6], 221-695-9			**3**								
Hexachlorbenzol [118-74-1], 204-273-9	**2**								(H)		
1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3-butadien [87-68-3], 201-765-5	3								(H)		
1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan (techn. Gemisch aus α-HCH [319-84-6], 206-270-8, und β-HCH [319-85-7], 206-271-3)	**3**					0,5 E		8(II)	H, 8	DFG	
γ-1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclo-hexan s. Lindan											
Hexachlorcyclopentadien [77-47-4], 201-029-3						0,2	0,02		H	AGS (2006)	
Hexachlorethan [67-72-1], 200-666-4						9,8	1	2(II)		DFG	
Hexadecan-1-ol [36653-82-4], 253-149-0						200	20	1(I)		AGS (2006)	
Hexahydrocyclopenta[c]-pyrrol-1-(1H)-ammonium-N-ethoxy-carbo-nyl-N-(p-tolylsulfonyl)azanid 418-350-1		**3**			Sh						
* Hexamethylenbis(3-[3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl]-propionat) [35074-77-2], 252-346-9						10 E		2(II)	Y	DFG (2012)	
Hexamethylen-1,6-diisocyanat [822-06-0], 212-485-8					S	0,035	0,005	1;=2=(I)	12	DFG (1998)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Hexamethylphosphorsäure-triamid [680-31-9], 211-653-8	2	2							(H)		
Hexan Isomere (außer n-Hexan) siehe auch Methylcyclopentan, Dimethylbutane und Methylpentane						1800	500	2(II)		DFG (2010)	
n-Hexan [110-54-3], 203-777-6				3		180	50	8(II)	Y	DFG	BGW
Hexandisäuredimethylester s. Dimethyladipat											
1-Hexanol [111-27-3], 203-852-3						210	50	1(I)		AGS (2006)	
Hexan-2-on [591-78-6], 209-731-1				3		21	5	8(II)	H	DFG	BGW
Hexon s. 4-Methylpentan-2-on											
2-Hexyldecan-1-ol [2425-77-6], 219-370-1						200	20	1(I)		AGS (2006)	
O-Hexyl-N-ethoxycarbonylthio-carbamat 432-750-3	2	2			Sh						
Holzäther s. Dimethylether											
Holzstaub *) Eichen- und Buchenholzstaub, s. dort	3*)				S	s. Bemerk. 50			50	EU	
Hydrazin [302-01-2], 206-114-9 und seine Salze	2				Sh				H		EKA
Hydrazinbis(3-carboxy-4-hydro-xybenzolsulfonat) 405-030-1	2				Sh						
(4-Hydrazinophenyl)-N-methyl-methansulfonamidhydrochlorid [81880-96-8], 406-090-1		3			Sh						
Hydrazin-trinitromethan 414-850-9	2				Sh						
Hydrazobenzol [122-66-7], 204-563-5	2										
Hydrochinon s. 1,4-Dihydroxybenzol											
Hydrogenazid s. Stickstoffwasserstoffsäure											
Hydrogenbromid [10035-10-6], 233-113-0						6,7		1(I)	13	DFG, EU (2007)	
Hydrogenchlorid s. Chlorwasserstoff											
Hydrogensulfid s. Schwefelwasserstoff											
2-[2-Hydroxy-3-(2-chlorphenyl)-carbamoyl-1-naphthylazo]-7-[2-hydroxy-3-(3-methylphenyl)-carbamoyl-1-naphthylazo] fluoren-9-on 420-580-2			2								
4-Hydroxy-3,5-diiodbenzonitril s. Ioxynil (ISO)											
2-(2-Hydroxy-3,5-dinitroanilino) ethanol [99610-72-7], 412-520-9				3							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-(2-(2-Hydroxyethoxy)ethyl)-2-azabicyclo[2.2.1]heptan, 2-Hydroxyethoxyethyl-azanorbornan [116230-20-7], 407-360-1						5	0,5		H	AGS (2006)	
N-(2-Hydroxyethyl)-3-methyl-2-chinoxalincarboxamid-1,4-dioxid s. Olaquindox											
6-Hydroxy-1-(3-isopropoxypropyl)-4-methyl-2-oxo-5-[4-(phenylazo)phenylazo]-1,2-dihydro-3-pyridincarbonitril [85136-74-9], 400-340-3	2										
Hydroxylamin [7803-49-8], 232-259-2	3				Sh				H		
Hydroxylamindihydrogenphosphat [19098-16-9], 242-818-2	3				Sh				H		
Hydroxylaminhydrochlorid, Hydroxylammoniumchlorid [5470-11-1], 226-798-2	3				Sh				H		
Hydroxylamin-4-methylbenzolsulfonat [53933-48-5], 258-872-5	3				Sh				H		
Hydroxylaminphosphat [20845-01-6], 244-077-0	3				Sh				H		
Hydroxylaminsulfat, Hydroxylammoniumhydrogensulfat [10046-00-1], 233-154-4	3				Sh				H		
Hydroxylammoniumnitrat [13465-08-2], 236-691-2	3				Sh				H		
N-[3-Hydroxy-2-(2-methyl-acryloylaminomethoxy)propoxymethyl]-2-methyl-acrylamid; N-[2,3-Bis-(2-methyl-acryloylaminomethoxy)-propoxymethyl]-2-methyl-acrylamid; Methacrylamid; 2-Methyl-N-(2-methyl-acryloylaminomethoxymethyl)acrylamid; N-(2,3-Dihydroxy-propoxymethyl)-2-methylacrylamid, Gemisch aus 412-790-8	2	3									
N-Hydroxymethyl-chloracetamid s. N-Methylol-chloracetamid											
4-Hydroxy-4-methyl-pentan-2-on [123-42-2], 204-626-7						96	20	2(I)	H	DFG (2003)	
N-[4-[(2-Hydroxy-5-methylphenyl)azo]phenyl]acetamid, C.I. Disperse yellow 3 [2832-40-8], 220-600-8	3				Sh						
4-Hydroxy-3-nitroanilin s. 2-Nitro-4-aminophenol											
4-Hydroxy-3-(3-oxo-1-phenyl)-butylcumarin s. Warfarin											
4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)resorcinol-4-yl-tris-(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalin-1-sulfonat) und 4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)resorcinol-bis(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonat), 2:1 Gemisch aus [140698-96-0], 414-770-4	3										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Imidazolidin-2-thion s. Ethylenthioharnstoff											
4,4'-(Iminocyclohexa-2,5-dienylidenmethylen)dianilinhydrochlorid s. C.I. Basic Red 9											
Indeno[1,2,3-c,d]pyren [193-39-5], 205-893-2 s. Abschnitt 1.2											
* Indiumphosphid [22398-80-7], 244-959-5	**3**			**3**							
Iodmethan [74-88-4], 200-819-5	**3**								H		
Ioxynil (ISO) [1689-83-4], 216-881-1			**3**						H		
Ioxyniloctanoat s. 4-Cyan-2,6-diiodophenyloctanoat											
IPDI s. 3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylisocyanat											
Isobutan s. iso-Butan											
* Isobutylacetat [110-19-0], 203-795-1						300	62	2(I)	Y	AGS (2012)	
Isobutylchlorformiat [543-27-1], 208-840-1						1,1	0,2	2(I)	Y	AGS (2006)	
O-Isobutyl-N-ethoxy-carbonylthiocarbamat [103122-66-3], 434-350-4	**2**	**2**			Sh						
4,4'-Isobutylethylidendiphenol [6807-17-6], 401-720-1				**2**							
Isobutylnitrit [542-56-3], 208-819-7	**2**	**3**									
3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylisocyanat [4098-71-9], 223-861-6					S	0,046	0,005	1; =2=(I)	12	DFG (2006)	
Isocyanatobenzol s. Phenylisocyanat											
o-(p-Isocyanatobenzyl)phenylisocyanat s. 2,4'-Methylendiphenyldiisocyanat											
2-(Isocyanatosulfonylmethyl)-benzoesäuremethylester [83056-32-0], 410-900-9		**3**			Sa						
Isocyanursäuretris(2,3-epoxypropyl)ester s. Triglycidylisocyanurat											
Isopentan [78-78-4], 201-142-8						3 000	1 000	2(II)		DFG, EU	
Isopentylacetat s. 3-Methylbutylacetat											
Isophoron s. 3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on											
Isophorondiisocyanat s. 3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylisocyanat											
* Isopren [78-79-5], 201-143-3	**2**	**3**	–	–		8,4	3	8(II)		AGS (2012)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Isopropenylacetat [108-22-5], 203-562-7						46	10	2(I)		DFG (2006)	
Isopropenylbenzol [98-83-9], 202-705-0						250	50	2(I)		DFG (2006)	
2-Isopropoxyethanol [109-59-1], 203-685-6						22	5	8(II)	H, Y	DFG (1992)	
2-Isopropoxyphenyl-N-methyl-carbamat s. Propoxur											
Isopropylalkohol s. 2-Propanol											
Isopropylamin s. 2-Aminopropan											
Isopropylbenzol s. Cumol											
Isopropylbromid s. 2-Brompropan											
Isopropyl 3-chlorcarbanilat s. Chlorpropham (ISO)											
Isopropylether s. Diisopropylether											
Isopropylglycidether s. iso-Propylglycidylether											
Isopropylglykol s. Isopropoxyethanol											
4,4'-Isopropylidendiphenol [80-05-7], 201-245-8			–	**3**	Sh	5 E		1(I)	Y	DFG (1998)	
Isopropylöl Rückstand bei der Isopropyl-alkohol-Herstellung siehe Abschnitt 1.2											
3-(4-Isopropylphenyl)-1,1-dimethylharnstoff s. Isoproturon											
Isoproturon [34123-59-6], 251-835-4	**3**										
Isotridecan-1-ol [27458-92-0], 248-469-2						164	20	1(I)		AGS (2006)	
Isovaleraldehyd s. 3-Methylbutanal											
Isoxaflutole [141112-29-0]			**3**								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Jasmolin I [4466-14-2] s. Pyrethrum											
Jasmolin II [1172-63-0] s. Pyrethrum											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Kaliumbromat [7758-01-2], 231-829-8	**2**										
Kaliumchromat [7789-00-6], 232-140-5	**2** R49	**2**			Sh						
Kaliumdichromat [7778-50-9], 231-906-6	**2**	**2**	**2**	**2**	S				H		
Kaliumheptadecafluoroctan-1-sulfonat, Kaliumperfluoroctan-sulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
Kalium-1-methyl-3-morpholino-carbonyl-4-[3-(1-methyl-3-morpholinocarbonyl-5-oxo-2-pyrazolin-4-yliden)-1-propenyl] pyrazol-5-olat; [Gehalt an N,N-Dimethylformamid (EG-Nr. 200-679-5) ≥ 0,5 %] [183196-57-8], 418-260-2			**2**		Sh						
Kaliumtitanoxid ($K_2Ti_6O_{13}$) [12056-51-8], 432-240-0	**3**										
Kayaset Black T-2 s. Tetradecylammoniumbis(1-(5-chlor-2-oxidophenylazo)-2-naphtholato)chromat(1-)											
Kepone s. Chlordecon											
Keramische Mineralfasern, Fasern für spezielle Anwendungen [(künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat)-Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden ($Na_2O+K_2O+CaO+MgO+BaO$) von weniger oder gleich 18 Gewichtsprozent]	**2** R49										
Ketoconazol [65277-42-1], 265-667-4				**2**							
Kieselglas [60676-86-0], 262-373-8						0,3 A			Y	DFG (1990)	
Kieselgur, gebrannt [68855-54-9], 272-489-0						0,3 A			1, Y	DFG (1990)	
Kieselgur, ungebrannt [61790-53-2]						4 E			1, Y	DFG (1990)	
Kieselgut [7699-41-4], 231-716-3						0,3 A			Y	DFG (1990)	
Kieselrauch [69012-64-2], 273-761-1						0,3 A			Y, 1	DFG (2010)	
Kieselsäuren, amorphe [7631-86-9], 231-545-4						4 E			2, Y	DFG (1990)	
Kobalt s. Cobalt											
Kohlendioxid [124-38-9], 204-696-9						9 100	5 000	2(II)		DFG, EU	
Kohlendisulfid s. Kohlenstoffdisulfid											
* Kohlenmonoxid [630-08-0], 211-128-3			**1**			35	30	2(II)	Z	DFG (2012)	BGW
Kohlenoxid s. Kohlenmonoxid											
* Kohlenstoffdisulfid [75-15-0], 200-843-6			**3**	**3**		30	10	2(II)	H	AGS (2009)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Kohlenstofftetrachlorid s. Tetrachlormethan											
Kohlenwasserstoffe, C_{26-55}, aromatenreich [97722-04-8], 307-753-7	**2**										
Kohlenwasserstoffgemische, Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additivfrei, siehe auch Nummer 2.9 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6 Fraktionen (RCP-Gruppen): C5-C8 Aliphaten C9-C15 Aliphaten C7-C8 Aromaten C9-C15 Aromaten						 1500 600 200 100		 2(II) 2(II) 2(II) 2(II)		AGS (2007)	
p-Kresidin [120-71-8], 204-419-1	**2**								H		
Kresoxim-methyl [143390-89-0]	**3**										
Kresylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
Kristallviolett s. C.I. Basic Violet 3											
Krokydolith s. Asbest											
Künstliche Mineralfasern s. Faserstäube, krebserzeugend											
Schleime und Schlämme, elektrolytische Kupferraffination, entkupfert, Nickelsulfat [92129-57-2], 295-859-3	**1** R49	**3**	**2**		S						
Schleime und Schlämme, elektrolytische Kupferraffination, entkupfert, [94551-87-8], 305-433-1	**1** R49	**3**	**1**	**3**	S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Lachgas s. Distickstoffmonoxid											
* Leucomalachitgrün [129-73-7], 204-961-9	**3**	**3**									
d-Limonen s. (R)-p-Mentha-1,8-dien											
Lindan [58-89-9], 200-401-2	3	–							H		BGW
Linuron (ISO) [330-55-2], 206-356-5	**3**		**2**	**3**							
Lithiumheptadecafluoroctansulfonat, Lithiumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
Lithiumhydrid [7580-67-8], 231-484-3						0,025 E			13	EU (2007)	
Lösemittelkohlenwasserstoffe s. Kohlenwasserstoffgemische											
Lost s. 2,2‘-Dichlordiethylsulfid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Magnesiumoxid [1309-48-4], 215-171-9						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Magnesiumoxid-Rauch [1309-48-4]						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Malachitgrün Hydrochlorid, C.I. Basic Green 4 [569-64-2], 209-322-8 Malachitgrün Oxalat [18015-76-4], 219-441-7			**3**								
Malathion [121-75-5], 204-497-7					Sh	15 E		4(II)		DFG	
Maleinsäureanhydrid [108-31-6], 203-571-6					S	0,41	0,1	1; =2=(I)	Y	DFG (1992)	
Mancozeb [8018-01-7]			**3**		Sh						
Maneb [12427-38-2], 235-654-8			**3**		Sh						
Mangan [7439-96-5], 231-105-1 und seine anorganischen Verbindungen						0,5 E			Y, 10	DFG (1996)	BGW
MDI s. Diphenylmethan-4,4‘-diisocyanat											
Mecrilat s. Cyanacrylsäuremethylester											
* (R)-p-Mentha-1,8-dien [5989-27-5], 227-813-5					Sh	28	5	4(II)	Y, H	DFG (2013)	
Mepanipyrim [110235-47-7]	**3**										
* Mesitylen [108-67-8], 203-604-4						100	20	2(II)	Y	EU, DFG (2003)	BGW
4-Mesyl-2-nitrotoluol [1671-49-4], 430-550-0				**3**	Sh						
* Metazachlor (iso) [67129-08-2], 266-583-0	**3**				Sh						
Metconazol (ISO) [125116-23-6]			**3**								
Methacrylsäuremethylester s. Methylmetharcylat											
2-Methallylchlorid s. 3-Chlor-2-methylpropen											
Methanol [67-56-1], 200-659-6						270	200	4(II)	H, Y	DFG, EU	BGW
Methanthiol [74-93-1], 200-822-1						1	0,5	2(II)		DFG	
2-Methoxyanilin [90-04-0], 201-963-1	**2**	**3**	–	–					H		
2-(Methoxycarbonylhydrazonomethyl)chinoxalin-1,4-dioxid s. Carbadox											
Methoxychlor (DMDT) [72-43-5], 200-779-9						15 E		8(II)		DFG	
Methoxyessigsäure [625-45-6], 210-894-6			**2**	**2**		19	5	2(I)	Z	DFG	
* 2-Methoxyethanol [109-86-4], 203-713-7			**2**	**2**		3,2	1	8(II)	H, Z	DFG (2010) EU	BGW
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol [111-77-3], 203-906-6			**3**			50	10		Y, H	EU (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
* 2-(2-[2-Methoxyethoxy]ethoxy)-ethanol [112-35-6], 203-962-1						50 E		2(II)	Y, 11	DFG (2012)	
* 2-Methoxyethylacetat [110-49-6], 203-772-9			**2**	**2**		4,9	1	8(II)	H, Z	DFG (2010) EU	BGW
(E)-2-(Methoxyimino)-N-methyl-2-[α-(2,5-xylyloxy)-o-tolyl]acetamid s. Dimoxystrobin (ISO)											
(Z)-2-Methoxyimino-2-[2-(tritylamino)thiazol-4-yl]essigsäure [64485-90-1], 431-520-1	**3**										
2-Methoxy-5-methylanilin s. p-Kresidin											
(2-Methoxymethylethoxy)-propanol s. Dipropylenglykol-monomethylether											
2-Methoxy-1-methylethylacetat [108-65-6], 203-603-9						270	50	1(I)	Y	DFG (1992) EU	
7-Methoxy-6-(3-morpholin-4-yl-propoxy)-3H-quinazolin-4-on; [Gehalt an Formamid (EG-Nr. 200-842-0) ≥ 0,5 %] [199327-61-2], 429-400-7			**2**								
1-Methoxy-2-nitrobenzol s. 2-Nitroanisol											
4-Methoxyphenol s. Mequinol											
4-Methoxy-m-phenylendiamin s. 2,4-Diaminoanisol											
* 1-Methoxy-2-propanol [107-98-2], 203-539-1						370	100	2(I)	Y	DFG	BGW
2-Methoxy-1-propanol [1589-47-5], 216-455-5	–	–	**2**	–		19	5	8(II)	H, Z	DFG (2003)	
1-Methoxypropylacetat-2 s. 2-Methoxy-1-methylethylacetat											
2-Methoxypropylacetat-1 [70657-70-4], 274-724-2			**2**			28	5	8(II)	H, Z	DFG (2003)	
6-Methoxy-m-toluidin s. p-Kresidin											
N-Methylacetamid [79-16-3], 201-182-6	–	–	**2**	–							
Methylacetat [79-20-9], 201-185-2						610	200	4(II)	Y	DFG (1999)	
Methylacrylamidoglykolat (mit ≥ 0,1% Acrylamid) [77402-05-2], 403-230-3	**2**	**2**			Sh						
Methylacrylamido-methoxyacetat (mit ≥ 0,1 % Acrylamid) [77402-03-0], 401-890-7	**2**	**2**									
Methylacrylat [96-33-3], 202-500-6					Sh	18	5	1(I)	H	DFG	
Methyläther s. Dimethylether											
Methylal s. Dimethoxymethan											
Methylalkohol s. Methanol											
2-Methyl-allylchlorid s. 3-Chlor-2-methylpropen											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Methylamin [74-89-5], 200-820-0						13	10	=1=(I)		DFG	
1-Methyl-2-amino-5-chlorbenzol s. 4-Chlor-o-toluidin											
1-Methyl-2-amino-4-nitrobenzol s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
Methylamylalkohol s. 4-Methylpentan-2-ol											
4-Methylanilin s. p-Toluidin											
N-Methylanilin [100-61-8], 202-870-9						2,2	0,5	2(II)	H, 6	DFG	
2-Methyl-2-azabicyclo[2.2.1]-heptan [4524-95-2], 404-810-9						20	5		H	AGS (2006)	
2-Methylaziridin s. Propylenimin											
(Methyl-ONN-azoxy)methylacetat [592-62-1], 209-765-7	**2**		**2**								
Methylbenzimidazol-2-ylcarbamat s. Carbendazim (ISO)											
Methylbenzol s. Toluol											
N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin [51-75-2], 200-120-5	1	2							H		
Methylbromid s. Brommethan											
Methyl-1,3-butadien s. Isopren											
Methylbutan s. Isopentan											
3-Methylbutanal [590-86-3], 209-691-5						39	10	1(I)		AGS (1993)	
2-Methylbut-3-en-2-ol [115-18-4], 204-068-4						2	0,6	2(I)		AGS (2001)	
2-Methylbut-3-in-2-ol [115-19-5], 204-070-5						3	0,9	2(I)		AGS (2001)	
1-Methylbutylacetat [626-38-0], 210-946-8						270	50	1(I)		EU, DFG (1998)	
2-Methylbutylacetat [624-41-9], 210-843-8						270	50	1(I)	Y	EU, DFG (1998)	
3-Methylbutylacetat [123-92-2], 204-662-3						270	50	1(I)		EU, DFG (1998)	
Methyl-1-(butyl-carbamoyl)-benzimidazol-2-ylcarbamat s. Benomyl (ISO)											
Methylbutylketon s. 2-Hexanon											
Methyl-tert-butylether s. (tert-Butyl)methylether											
2-Methyl-5-tert-butylthiophenol 444-970-7			**3**		Sh						
Methyl-3-(chinoxalin-2-yl-methylen)carbazat-1,4-dioxid s. Carbadox											
Methylchloracetat [96-34-4], 202-501-1						4,5	1	1(I)	H, Y	DFG (1996)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Methyl-4-chloranilin s. 4-Chlor-o-toluidin											
Methylchlorformiat [79-22-1], 201-187-3						0,78	0,2	2(I)	Y, H	DFG (2006)	
Methylchlorid s. Chlormethan											
Methylchloroform s. 1,1,1-Trichlorethan											
Methyl-2-cyanacrylat s. Cyanacrylsäure-methylester											
Methylcyclohexan [108-87-2], 203-624-3						810	200	2(II)		DFG (2003)	
Methylcyclohexanol, techn. Gemisch [25639-42-3], 247-152-6						28	6	2(II)		AGS (2008)	
Methylcyclopentan [96-37-7], 202-503-2						1800	500	2(II)		DFG (2010)	
Methyldichlorbenzol s. Dichlortoluol (Isomerengemisch)											
1-Methyl-2,4-dichlorbenzol s. 2,4-Dichlortoluol											
6-Methyl-1,3-dithiolo(4,5-b)-chinoxalin-2-on s. Chinomethionat											
4,4'-Methylenbis(2-chloranilin) [101-14-4], 202-918-9 und seine Salze (2,2'-Dichlor-4,4'-methylen-dianilin)	2								H		
4,4'-Methylenbis(N,N-dimethyl-anilin) s. N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'-methylendianilin											
4,4'-Methylenbis(N,N-dimethyl)-benzamin s. N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'-methylendianilin											
4,4'-Methylenbis(2-ethylanilin) [19900-65-3], 243-420-1	3	–	–	–							
Gemisch aus: Reaktionsprodukt aus 4,4'-Methylenbis[2-(4-hydroxybenzyl)-3,6-dimethyl-phenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalinsulfonat (1:2) Reaktionsprodukt aus 4,4'-Methylenbis[2-(4-hydroxybenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalin-sulfonat (1:3) 417-980-4	3										
Diester von 4,4'-Methylenbis[2-(2-hydroxy-5-methylbenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonsäure (1:2), Triester von 4,4'-Methylenbis[2-(2-hydroxy-5-methylbenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonsäure (1:3), Gemisch aus 427-140-9	3										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
(Methylenbis(4,1-phenylenazo(1-(3-(dimethylamino)propyl)-1,2-dihydro-6-hydroxy-4-methyl-2-oxopyridin-5,3-diyl)))-1,1’-dipyridiniumdichloriddihydrochlorid 401-500-5	2										
Methylenchlorid s. Dichlormethan											
4,4‘-Methylendianilin s. 4,4‘-Diamino-diphenylmethan											
2,2‘-Methylendiphenyl-diisocyanat [2536-05-2], 219-799-4	3				S	0,05		1; =2=(I)	11, 12	AGS (2009)	
2,4‘-Methylendiphenyl-diisocyanat [5873-54-1], 227-534-9	3				S	0,05		1;=2=(I)	11, 12	AGS (2009)	
4,4‘-Methylendiphenyl-diisocyanat [101-68-8], 202-966-0	3				S	0,05	0,005	1;=2=(I)	11, 12 Y, H	DFG (1993)	BGW
4,4‘-Methylendiphenyl-diisocyanat, Polymer (als MDI berechnet) [9016-87-9] [1] in Form atembarer Aerosole, A-Fraktion	3[1]				S	0,05 E		1; =2=(I)	H, Y, 12	DFG (2010)	
Methylendiphenyldiisocyanat [26447-40-5], 247-714-0	3				S						
4,4‘-Methylendi-o-toluidin s. 3,3‘-Dimethyl-4,4‘-diamino-phenylmethan											
Methylethylketon s. Butanon											
N,N-Methylethyl-nitrosamin s. N-Nitrosomethyl-ethylamin											
N-Methylformamid [123-39-7], 204-624-6			2						H		
Methylformiat [107-31-3], 203-481-7						120	50	4(II)	H, Y	DFG (1998)	
Methylglykol s. 2-Methoxyethanol											
Methylglykolacetat s. 2-Methoxyethylacetat											
5-Methyl-3-heptanon [541-85-5], 208-793-7						53	10	2(I)		DFG, EU (2003)	
5-Methyl-2-hexanon [110-12-3], 203-737-8						95	20			EU (2003)	
Methyliodid s. Iodmethan											
Methylisobutylcarbinol s. 4-Methylpentan-2-ol											
Methylisobutylketon s. 4-Methylpentan-2-on											
Methylisocyanat [624-83-9], 210-866-3			3		S	0,024	0,01	1(I)	H, 12	DFG	
Methyljodid s. Iodmethan											
Methylmercaptan s. Methanthiol											
Methylmethacrylat [80-62-6], 201-297-1					Sh	210	50	2(I)	Y	DFG	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Methyl (E)-2-methoxyimino-[2-(o-tolyl)oxymethyl)phenylacetat s. Kresoxim-methyl											
2-Methyl-4-[(2-methylphenyl)-azo]benzamin s. 2-Aminoazotoluol											
N-Methyl-1-naphthylcarbamat s. Carbaryl											
2-Methyl-5-nitrobenzamin s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
1-Methyl-3-nitro-1-nitroso-guanidin [70-25-7], 200-730-1	**2**										
N-Methyl-N-nitrosoanilin s. N-Nitrosomethylphenylamin											
N-Methyl-N-nitrosoethamin s. N-Nitroso-methylethylamin											
N-Methyl-N-nitroso-methanamin s. N-Nitroso-dimethylamin											
N-Methylolchloracetamid [2832-19-1], 220-598-9	–	3	–	–	Sh						
Methyloxiran s. 1,2-Epoxypropan											
2-Methyl-4-oxo-3-(penta-2,4-dienyl)cyclopent-2-enyl-[1R-[1α[S*(Z)],3β]]chrysanthemat s. Pyrethrin I											
2-Methyl-4-oxo-3-(penta-2,4-dienyl)cyclopent-2-enyl-[1R[1α–[S*(Z)]-(3β)]]-3-(3-methoxy-2-methyl-3-oxoprop-1-enyl-2,2-dimethylcyclopropan-carboxylat s. Pyrethrin II											
2-Methylpentan [107-83-5], 203-523-4						1800	500	2(II)		DFG (2010)	
3-Methylpentan [96-14-0], 202-481-4						1800	500	2(II)		DFG (2010)	
4-Methylpentan-2-ol [108-11-2], 203-551-7						85	20	1(I)		DFG (2004)	
4-Methylpentan-2-on [108-10-1], 203-550-1						83	20	2(I)	H, Y	DFG (1998)	BGW
Methylphenylendiamin [25376-45-8], 246-910-3 Techn. Gemisch aus 4- und 2-Methyl...	**2**	**3**		**3**	Sh				H		
4-Methyl-m-phenylendiamin s. 2,4-Toluylendiamin											
2-Methyl-m-phenylendiamin [823-40-5], 212-513-9		**3**			Sh				H		
2-Methyl-m-phenylendiisocyanat s. 2,6-Diisocyanattoluol											
4-Methyl-m-phenylendiisocyanat s. 2,4-Diisocyanattoluol											
2-Methylpropan s. iso-Butan											
2-Methylpropan-1-ol s. iso-Butanol											
2-Methyl-2-propanol [75-65-0], 200-889-7						62	20	4(II)	Y	DFG (2001)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
6-(1-Methylpropyl)-2,4-dinitrophenol s. Dinoseb											
1-Methylpropylenglykol-2 s. 1-Methoxy-2-propanol											
* N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) [872-50-4], 212-828-1			**2**			82	20	2(I)	H, Y, 19	EU, AGS, DFG (2007)	BGW
Methylstyrol (alle Isomeren) [25013-15-4], 246-562-2						490	100	2(I)		DFG	
α-Methylstyrol s. Isopropenylbenzol											
* Methylvinylether [107-25-5], 203-475-4						120	50	2(II)	Y	DFG (2013)	
Mevinphos [7786-34-7], 232-095-1						0,093	0,01	2(II)	H	DFG	
Michlers Keton [90-94-8], 202-027-5	**2**	**3**	–	–							
Mineralfasern s. Abschnitt 1.2 s. Faserstäube, anorganische											
Mineralwolle [künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat)-Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na_2O+K_2O+CaO+MgO+BaO) von über 18 Gewichtsprozent [1] s. Abschnitt 1.2	**3** 2[1]										
Mirex [2385-85-5], 219-196-6	**3**		**3**	**3**					H		
Molinat [2212-67-1], 218-661-0	**3**			**3**	Sh						
Molybdäntrioxid [1313-27-5], 215-204-7	**3**										
Monochlordimethylether (Chlormethylmethylether) [107-30-2], 203-480-1	**1**								H		
Monochloressigsäure s. Chloressigsäure											
Monochloressigsäure-ethylester s. Ethylchloracetat											
Monochloressigsäure-methylester s. Methylchloracetat											
Monochlormonofluormethan s. Chlorfluormethan											
Monochlortrifluormethan s. Chlortrifluormethan											
Monocrotophos (ISO) [6923-22-4], 230-042-7		**3**							H		
Monuron (ISO) [150-68-5], 205-766-1	**3**										
Monuron-TCA s. 3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyluroniumtrichloracetat											
Morpholin [110-91-8], 203-815-1						36	10	2(I)	H, 6	DFG (2002)	
Morpholinylcarbamoylchlorid s. Morpholin-4-carbonylchlorid											
Morpholin-4-carbonylchlorid [15159-40-7], 239-213-0	**3** 2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Musk Ketone s. 4‘-tert-Butyl-2‘,6‘-dimethyl-3‘,5‘-dinitroacetophenon											
Musk Xylene s. 5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m-xylol											
Myclobutanil [88671-89-0]			**3**								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Naled [300-76-5], 206-098-3					Sh	1 E		2(II)	Y, H	DFG, AGS (2007)	
Naphthalin [91-20-3], 202-049-5	**3**	**–**	**–**	**–**	–	0,5 E	0,1	1(I)	H, Y, 11	AGS (2011)	
1-Naphthylamin (α-) [134-32-7], 205-138-7						1 E	0,17	4(II)	H, (11)	AGS (1994)	
2-Naphthylamin (β-) [91-59-8], 202-080-4 und seine Salze	**1**								(H)		
2-Naphthylamino-1-sulfonsäure s. 2-Amino-1-naphthalinsulfon-säure											
N-2-Naphthylanilin s. N-Phenyl-2-naphthylamin											
1,5-Naphthylendiamin [2243-62-1], 218-817-8	**3**								(H)		
1,5-Naphthylendiisocyanat [3173-72-6], 221-641-4					Sa	0,05		1; =2=(I)	11, 12	AGS (2006)	
1-Naphthylmethylcarbamat s. Carbaryl											
1-(1-Naphthylmethyl)-quino-liniumchlorid [65322-65-8], 406-220-7	**3**	**3**									
1-Naphthylthioharnstoff s. ANTU											
Natriumazid [26628-22-8], 247-852-1						0,2		2(I)		DFG	
Natriumchromat [7775-11-3], 231-889-5	**2**	**2**	**2**	**2**	S				H		
Natriumdichromat [10588-01-9], 234-190-3 Natriumdichromatdihydrat [7789-12-0], 234-190-3	**2**	**2**	**2**	**2**	S				H		
Natriumfluoracetat [62-74-8], 200-548-2						0,05 E		4(II)	H, Z	DFG, AGS (2007)	
Natriumperborat [15120-21-5], 239-172-9 Perborsäure, Natriumsalz [11138-47-9], 234-390-0 Perborsäure, Natriumsalz, Monohydrat [12040-72-1] Natriumperoxometaborat [7632-04-4], 231-556-4 Perborsäure (HBO(O2)), Natriumsalz, Monohydrat, Natriumperoxoborat [10332-33-9]			**2**	**3**							
Natriumpyrithion [3811-73-2, 15922-78-8], 240-062-8, 223-296-5						1 E		2(II)	H, Z	DFG (1996)	
NDI s. 1,5-Naphthylendiisocyanat											
Nickel (Metall) [7440-02-0], 231-111-4	**3**				Sh						EKA
Nickelverbindungen:											
• Ameisensäure, Kupfer-Nickel-Salz [68134-59-8], 268-755-0	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Ameisensäure, Nickelsalz [15843-02-4], 239-946-6	**1 R49**	**3**	**2**		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nickelverbindungen (Fortsetzung):											
• Bis(D-gluconato-O1,O2)nickel [71957-07-8], 276-205-6	1 R49	3	2		S						
• [Carbonato(2-)]tetrahydroxy-trinickel [12607-70-4], 235-715-9	1 R49	3	2		S						
• [μ-[Carbonato(2-)-O:O']]-dihydroxytrinickel [65405-96-1], 265-748-4	1 R49	3	2		S						
• Cobalt-Dimolybdän-Nickel-octaoxid [68016-03-5], 268-169-5	1 R49				Sh						
• Cobalt-Lithium-Nickeloxid 442-750-5	1 R49				Sh						
• Cobalt-Nickel-Dioxid [58591-45-0], 261-346-8 Cobalt-Nickel-Oxid [12737-30-3]	1 R49				Sh						
• Cobalt-Nickel-Gray-Periklas, C.I. 77332 [68186-89-0], 269-051-6	1 R49				Sh						
• Dialuminium-Nickeltetraoxid [12004-35-2], 234-454-8	1 R49				Sh						
• Diammoniumnickelhexacyano-ferrat [74195-78-1]	1 R49				S						
• Dimethylhexansäure, Nickelsalz [93983-68-7], 301-323-2	1 R49	3	2		S						
• Dinickelborid [12007-01-1], 234-494-6	1 R49				Sh						
• Dinickeldiphosphat [14448-18-1], 238-426-6	1 R49				S						
• Dinickelhexacyanoferrat [14874-78-3], 238-946-3	1 R49				Sh						
• Dinickelorthosilikat [13775-54-7], 237-411-1	1 R49				Sh						
• Dinickelphosphid [12035-64-2], 234-828-0	1 R49				Sh						
• Dinickelsilicid [12059-14-2], 235-033-1	1 R49				Sh						
• Dinickeltrioxid [1314-06-3], 215-217-8	1 R49				Sh						
• Diphosphorsäure, Nickel(II)-Salz [19372-20-4]	1 R49				S						
• (2-Ethylhexanoato-O)-(isodecanoato-O)nickel [84852-39-1], 284-351-7	1 R49	3	2		S						
• (2-Ethylhexanoato-O)-(isononanoato-O)nickel [85508-45-8], 287-470-2	1 R49	3	2		S						
• (2-Ethylhexanoato-O)-(neodecanoato-O)nickel [85135-77-9], 285-698-7	1 R49	3	2		S						
• 2-Ethylhexansäure, Nickelsalz [7580-31-6], 231-480-1	1 R49	3	2		S						
• Ethylhydrogensulfat, Nickel(II)-Salz [71720-48-4], 275-897-7	1 R49	3	2		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio-logischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nickelverbindungen (Fortsetzung):											
• Fettsäuren, $C_{6\text{-}19}$-verzweigt, Nickelsalze [91697-41-5], 294-302-1	1 R49	3	2		S						
• Fettsäuren, $C_{8\text{-}18}$ und C_{18}-ungesättigt, Nickelsalze [84776-45-4], 283-972-0	1 R49	3	2		S						
• (Isodecanoato-O)-(isononanoato-O)nickel [84852-36-8], 284-348-0	1 R49	3	2		S						
• (Isodecanoato-O)-(isooctanoato-O)nickel [85166-19-4], 285-909-2	1 R49	3	2		S						
• (Isononanoato-O)-(isooctanoato-O)nickel [85508-46-9], 287-471-8	1 R49	3	2		S						
• (Isononanoato-O)-(neodecanoato-O)nickel [85551-28-6], 287-592-6	1 R49	3	2		S						
• (Isooctanoato-O) (neodecanoato-O)nickel [84852-35-7], 284-347-5	1 R49	3	2		S						
• Kieselsäure, Blei-Nickel-Salz [68130-19-8]	1 R49		1	3	S						
• Kieselsäure, Nickelsalz [37321-15-6], 253-461-7	1 R49				Sh						
• Lithium-Nickeldioxid [12031-65-1]	1 R49				Sh						
• Molybdän-Nickelhydroxidoxid-phosphat [68130-36-9], 268-585-7	1 R49				S						
• Molybdän-Nickeloxid [12673-58-4]	1 R49				Sh						
• Molybdän-Nickeltetraoxid [14177-55-0], 238-034-5	1 R49				Sh						
• 2,7-Naphthalendisulfonsäure, Nickel(II)-Salz [72319-19-8]	1 R49	3	2		S						
• Neodecansäure, Nickelsalz [51818-56-5], 257-447-1	1 R49	3	2		S						
• Nickelacetat [14998-37-9], 239-086-1	1 R49	3	2		S						
• Nickel(II)-arsenat s. Trinickel-bis(arsenat)											
• Nickelarsenid [27016-75-7], 248-169-1	1 R49				Sh						
• Nickel-Barium-Titan-Primel-Priderit, C.I. 77900 [68610-24-2], 271-853-6	1 R49				Sh						
• Nickel-bis(benzolsulfonat) [39819-65-3], 254-642-3	1 R49	3	2		S						
• Nickel-3,5-bis(tert-butyl)-4-hydroxybenzoat(1:2) [52625-25-9], 258-051-1	1 R49	3	2		S						
• Nickel-bis(4-cyclohexylbutyrat) [3906-55-6], 223-463-2	1 R49	3	2		S						
• Nickel-bis(dihydrogen-phosphat) [18718-11-1], 242-522-3	1 R49				S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nickelverbindungen (Fortsetzung):											
• Nickel-bis(2-ethylhexanoat) [4454-16-4], 224-699-9	1 R49	3	2		S						
• Nickel-bis(isononanoat) [84852-37-9], 284-349-6	1 R49	3	2		S						
• Nickel-bis(phosphinat) [14507-36-9], 238-511-8	1 R49				S						
• Nickel-bis(sulfamidat) [13770-89-3], 237-396-1	1 R49	3	2		S						
• Nickel-bis(tetrafluorborat) [14708-14-6], 238-753-4	1 R49	3	2		S						
• Nickelborid (NiB) [12007-00-0], 234-493-0 Nickelborid [12619-90-8], 235-723-2	1 R49				Sh						
• Nickel-Borphosphid [65229-23-4]	1 R49				Sh						
• Nickelcarbonat [3333-67-3], 222-068-2 Kohlensäure, Nickelsalz [16337-84-1], 240-408-8	1 R49	3	2		S						EKA
• Nickelcarbonyl s. Nickeltetracarbonyl											
• Nickelchromat [14721-18-7], 238-766-5	1 R49				S						
• Nickeldi(acetat) [373-02-4], 206-761-7	1 R49	3	2		S						
• Nickeldiammonium-bis(sulfat), Diammoniumnickel-bis(sulfat) [15699-18-0], 239-793-2	1 R49	3	2		S						
• Nickeldiarsenid [12068-61-0], 235-103-1	1 R49				Sh						
• Nickeldibenzoat [553-71-9], 209-046-8	1 R49	3	2		S						
• Nickeldibromat [14550-87-9], 238-596-1	1 R49	3	2		S						
• Nickeldibromid [13462-88-9], 236-665-0	1 R49	3	2		S						
• Nickeldichlorat [67952-43-6], 267-897-0	1 R49	3	2		S						
• Nickeldichlorid [7718-54-9], 231-743-0	1 R49	3	2		S						
• Nickeldichromat [15586-38-6], 239-646-5	1 R49	3	2		S						
• Nickeldicyanid [557-19-7], 209-160-8	1 R49				S						
• Nickeldifluorid [10028-18-9], 233-071-3	1 R49	3	2		S						
• Nickeldiformat [3349-06-2], 222-101-0	1 R49	3	2		S						
• Nickeldihydroxid [12054-48-7], 235-008-5 [11113-74-9], 234-348-1	1 R49	3	2		S						
• Nickeldijodid [13462-90-3], 236-666-6	1 R49	3	2		S						
• Nickeldikalium-bis(sulfat) [13842-46-1[, 237-563-9	1 R49	3	2		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nickelverbindungen (Fortsetzung):											
• Nickeldilactat [16039-61-5]	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickeldinitrat [13138-45-9], 236-068-5 Salpetersäure, Nickelsalz [14216-75-2], 238-076-4	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickeldioxid [12035-36-8], 234-823-3	**1 R49**				Sh						EKA
• Nickeldiperchlorat, Perchlorsäure, Nickel(II)-Salz [13637-71-3], 237-124-1	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickeldisilicid [12201-89-7], 235-379-3	**1 R49**				Sh						
• Nickeldithiocyanat [13689-92-4], 237-205-1	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel-Divanadiumhexaoxid [52502-12-2], 257-970-5	**1 R49**				Sh						
• Nickelhexafluorsilikat [26043-11-8], 247-430-7	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel(II)-hydrogencitrat [18721-51-2], 242-533-3	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickelhydrogenphosphat [14332-34-4], 238-278-2	**1 R49**				S						
• Nickel(II)-isodecanoat [85508-43-6], 287-468-1	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel(II)-isooctanoat [29317-63-3], 249-555-2	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickelisooctanoat [27637-46-3], 248-585-3	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel-Kalium-Fluorid [11132-10-8]	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickelmatte sowie Rösten oder elektrolytische Raffination von s. Abschnitt 1.2 [69012-50-6], 273-749-6	**1**				Sh						
• Nickelmonoxid [1313-99-1], 215-215-7 Nickeloxid [11099-02-8], 234-323-5 Bunsenit [34492-97-2]	**1 R49**				Sh						EKA
• Nickel(II)-neodecanoat [85508-44-7], 287-469-7	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel(II)-neononanoat [93920-10-6], 300-094-6	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel(II)-neoundecanoat [93920-09-3], 300-093-0	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickel(II)-octadecanoat s. Nickel(II)-stearat											
• Nickel(II)-octanoat [4995-91-9], 225-656-7	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickeloxalat [547-67-1], 208-933-7 Oxalsäure, Nickelsalz [20543-06-0], 243-867-2	**1 R49**				Sh						
• Nickel(II)-palmitat [13654-40-5], 237-138-8	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Nickelphosphinat [36026-88-7], 252-840-4	**1 R49**				S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nickelverbindungen (Fortsetzung):											
• Nickel(II)-propionat [3349-08-4], 222-102-6	1 R49	3	2		S						
• Nickelsalze, löslich, soweit nicht namentlich erwähnt	1	–									
• Nickelselenat [15060-62-5], 239-125-2	1 R49	3	2		S						
• Nickelselenid [1314-05-2], 215-216-2	1 R49				Sh						
• Nickel(II)-Selenit [10101-96-9], 233-263-7	1 R49				S						
• Nickelsilikat (3:4) [31748-25-1], 250-788-7	1 R49				Sh						
• Nickel(II)-Silikat [21784-78-1], 244-578-4	1 R49				Sh						
• Nickelstannat s. Nickel-Zinn-Trioxid											
• Nickel(II)-stearat [2223-95-2], 218-744-1	1 R49	3	2		S						
• Nickelsulfamat s. Nickel-bis(sulfamidat)											
• Nickelsulfat [7786-81-4], 232-104-9	1 R49	3	2		S						
• Nickelsulfid [16812-54-7], 240-841-2 Nickelsulfid [11113-75-0], 234-349-7 Millerit [1314-04-1]	1 R49	3			Sh						EKA
• Nickel(II)-sulfit [7757-95-1], 231-827-7	1 R49				S						
• Nickeltellurid [12142-88-0], 235-260-6	1 R49				Sh						
• Nickel-tellurtetraoxid [15852-21-8], 239-974-9	1 R49				S						
• Nickel-Tellurtrioxid [15851-52-2], 239-967-0	1 R49				S						
• Nickeltetracarbonyl [13463-39-3], 236-669-2	3		2		S						
• Nickel-Titanoxid [12653-76-8], 235-752-0	1 R49				Sh						
• Nickel-Titantrioxid [12035-39-1], 234-825-4	1 R49				Sh						
• Nickel(II)-trifluoracetat [16083-14-0], 240-235-8	1 R49	3	2		S						
• Nickeltriurandecaoxid [15780-33-3], 239-876-6	1 R49				Sh						
• Nickel-Wolframtetraoxid [14177-51-6], 238-032-4	1 R49				Sh						
• Nickel-Zinn-Trioxid [12035-38-0], 234-824-9	1 R49				Sh						
• Nickel-Zirkontrioxid [70692-93-2], 274-755-1	1 R49				Sh						
• Olivin, Nickel grün [68515-84-4], 271-112-7	1 R49				Sh						
• Phosphorsäure, Calcium-Nickel-Salz [17169-61-8]	1 R49				S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nickelverbindungen (Fortsetzung):											
• Trihydrogenhydroxy-bis[ortho-silikato(4-)]trinickelat(3-) [12519-85-6], 235-688-3	**1 R49**				Sh						
• Trinickel-bis(arsenat) [13477-70-8], 236-771-7	**1**				Sh						
• Trinickel-bis(arsenit) [74646-29-0]	**1 R49**				Sh						
• Trinickel-bis(orthophosphat) [10381-36-9], 233-844-5	**1 R49**				S						
• Trinickelborid [12007-02-2], 234-495-1	**1 R49**				Sh						
• Trinickeldisulfid [12035-72-2]; [12035-71-1], 234-829-6	**1 R49**	**3**			Sh						EKA
• Trinickeltetrasulfid [12137-12-1]	**1 R49**				Sh						
• Zitronensäure, Ammonium-Nickel-Salz [18283-82-4], 242-161-1	**1 R49**	**3**	**2**		S						
• Zitronensäure, Nickelsalz [22605-92-1], 245-119-0	**1 R49**	**3**	**2**		S						
Nikotin [54-11-5], 200-193-3						0,5		2(II)	13, H	EU (2007)	
5-Nitroacenaphthen [602-87-9], 210-025-0	**2**										
2-Nitro-4-aminophenol [119-34-6], 204-316-1	3								H		
4-Nitro-2-aminotoluol s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
2-Nitroanisol [91-23-6], 202-052-1	**2**										
Nitrobenzol [98-95-3], 202-716-0	**3**			**3**		1		2(II)	H	EU (2007)	BGW
4-Nitrobiphenyl [92-93-3], 202-204-7	**2**								(H)		
o-Nitrochlorbenzol s. 1-Chlor-2-nitrobenzol											
p-Nitrochlorbenzol s. 1-Chlor-4-nitrobenzol											
2-Nitro-1,4-diaminobenzol s. 2-Nitro-p-phenylendiamin											
Nitroethan [79-24-3], 201-188-9						310	100	4(II)		DFG	
Nitrofen (ISO) [1836-75-5], 217-406-0	**2**		**2**								
Nitroglykol s. Ethylenglykoldinitrat											
2-Nitronaphthalin [581-89-5], 209-474-5	**2**										
2-Nitro-p-phenylendiamin [5307-14-2], 226-164-5	3				Sh				(H)		
1-Nitropropan [108-03-3], 203-544-9						92	25	4(I)	3, H	DFG (2000)	
2-Nitropropan [79-46-9], 201-209-1	**2**								(H)		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nitropyrene (Mono-, Di- Tri-, Tetra-) (Isomere) [5522-43-0], 226-868-2	3										
N-Nitroso-bis(2-hydroxyethyl)-amin s. N-Nitroso-diethanolamin											
Nitrosodi-n-butylamin [924-16-3], 213-101-1	2								H		
N-Nitrosodiethanolamin [1116-54-7], 214-237-4	**2**								H		
N-Nitrosodiethylamin [55-18-5], 200-226-1	2								H		
N-Nitrosodimethylamin [62-75-9], 200-549-8	**2**								H		
N-Nitrosodi-i-propylamin [601-77-4]	2								H		
N-Nitrosodi-n-propylamin [621-64-7], 210-698-0	**2**								H		
Nitrosoethylanilin s. Nitrosoethylphenylamin											
N-Nitrosoethylphenylamin [612-64-6]	2								H		
2,2'-(Nitrosoimino)bisethanol s. N-Nitroso-diethanolamin											
Nitrosomethylanilin s. N-Nitroso-methylphenylamin											
N-Nitrosomethyl-ethylamin [10595-95-6]	2								H		
N-Nitrosomethylphenylamin [614-00-6], 210-366-5	2								H		
N-Nitrosomorpholin [59-89-2]	2								H		
p-Nitrosophenol [104-91-6], 203-251-6		**3**									
N-Nitrosopiperidin [100-75-4], 202-886-6	2								H		
N-Nitrosopyrrolidin [930-55-2], 213-218-8	2								H		
5-Nitro-3-toluidin s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
2-Nitrotoluol [88-72-2], 201-853-3	**2**	**2**	–	**3**					H		
3-Nitrotoluol [99-08-1], 202-728-6									H		
4-Nitrotoluol [99-99-0], 202-808-0									H		
Nonylphenol [25154-52-3], 246-672-0	–	–	**3**	**3**							
4-Nonylphenol, verzweigt [84852-15-3], 284-325-5	–	–	**3**	**3**							
Norfluran s. 1,1,1,2-Tetrafluorethan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Octabromdiphenylether [32536-52-0], 251-087-9	–	–	**2**	**3**							
1,2,4,5,6,7,8,8-Octachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoindan s. Chlordan (ISO)											
Octadecan-1-ol [112-92-5], 204-017-6						224	20	1(I)		AGS (2006)	
Octamethylcyclotetrasiloxan [556-67-2], 209-136-7	–	–	–	**3**							
Octan (alle Isomeren außer Trimethylpentanisomere)						2 400	500	2(II)		DFG	
Octan-1-ol [111-87-5], 203-917-6						106	20	1(I)		AGS (2006)	
2-Octyl-2H-isothiazol-3-on [26530-20-1], 247-761-7					Sh	0,05 E		2(I)	H, Y	DFG (2000)	
Olaquindox [23696-28-8], 245-832-7	3	2	–	3	Sh						
Orthoborsäure, Natriumsalz [13840-56-7], 237-560-2			**2**	**2**		0,5		2(I)	Y, 10	AGS (2007)	
Orthophosphorsäure [7664-38-2], 231-633-2						2 E		2(I)	Y	DFG, AGS (2007)	
Oxadiargyl [39807-15-3], 254-637-6			**3**								
Oxalsäure [144-62-7], 205-634-3						1 E		1(I)	H, 13	EU (2007)	
Oxiran s. Ethylenoxid											
Oxiranmethanol, 4-methylbenzolsulfonat, (S)- [70987-78-9], 417-210-7	**2**	**3**			Sh						
3-Oxoandrost-4-en-17-beta-carbonsäure [302-97-6], 414-990-0				**3**							
4,4'-Oxy-bis-benzolamin s. 4,4'-Oxydianilin											
2,2'-(Oxybis(methylen))bisoxiran s. Diglycidylether											
4,4'-Oxydianilin [101-80-4], 202-977-0	**2**	**2**	–	**3**					H		
2,2'-Oxydiethanol s. Diethylenglykol											
* Oxydipropanol [25265-71-8], 246-770-3						100 E		2(II)	H, Y, 11	DFG (2012)	
Ozon [10028-15-6], 233-069-2	3	–	–	–							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Paraffine, chlorierte s. Chloralkane											
Paraquatdichlorid [1910-42-5], 217-615-7						0,1 E		1(I)	H	DFG	
Parathion [56-38-2], 200-271-7						0,1 E		8(II)	H	DFG	BGW
Passivrauchen am Arbeitsplatz s. Abschnitt 1.2	1	3	1	–							
PCP s. Pentachlorphenol											
Pentaboran [19624-22-7], 243-194-4						0,013	0,005	2(II)		DFG	
* Pentacarbonyleisen [13463-40-6], 236-670-8						0,81	0,1	2(I)	H	DFG (2012)	
Pentachlorethan [76-01-7], 200-925-1	**3**										
Pentachlorphenol [87-86-5], 201-778-6 – Salze von (außer Alkalisalze) – Alkalisalze von	**3** 2 2 2 **3**	3	2	–					H H		EKA
n-Pentan [109-66-0], 203-692-4						3 000	1 000	2(II)	Y	DFG, EU	
iso-Pentan s. Isopentan											
tert-Pentan s. Dimethylpropan											
Pentan-2,4-dion (Acetylaceton) [123-54-6], 204-634-0						126	30	2(II)	H, Y	AGS (2007)	
1-Pentylacetat [628-63-7], 211-047-3						270	50	1(I)	Y	EU, DFG (1998)	
3-Pentylacetat [620-11-1]						270	50	1(I)		EU, DFG (1998)	
Perborsäure (H3BO2(O2)), Mononatriumsalz-Trihydrat [13517-20-9] Perborsäure, Natriumsalz-Tetrahydrat [37244-98-7] Perborsäure (HBO(O2)), Natriumsalz-Tetrahydrat Natriumperoxoborat-Hexahydrat [10486-00-7]			**2**	**3**							
Perchlorbutadien s. 1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3-butadien											
Perchlorethylen s. Tetrachlorethen											
* Perfluoroctansäure und ihre anorganischen Salze											BGW
* Perfluoroctansulfonsäure, Heptadecafluoroctan-1-sulfonsäure [1763-23-1], 217-179-8	**3**		**2**			0,01 E		8(II)	H, Z	DFG (2012)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
* Perfluoroctansulfonsäureverbindungen: Kaliumperfluoroctansulfonat, Kaliumheptadecafluoroctan-1-sulfonat [2795-39-3], 220-527-1 Diethanolaminperfluoroctansulfonat [70225-14-8], 274-460-8 Ammoniumperfluoroctansulfonat, Ammoniumheptadecafluoroctansulfonat [29081-56-9], 249-415-0 Lithiumperfluoroctansulfonat, Lithiumheptadecafluoroctansulfonat [29457-72-5], 249-644-6	**3**		**2**								BGW
PHC s. Propoxur											
Phenol [108-95-2], 203-632-7	–	**3**	–	–		8	2	2(II)	H	EU (2006)	BGW
Phenolphthalein [77-09-8], 201-004-7	**2**	**3**		**3**							
2-Phenoxyethanol [122-99-6], 204-589-7						110	20	2(I)	H, Y	DFG (2001)	
4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin s. Chrysoidin											
4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin-dihydrochlorid 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin-monoacetat 4-Phenylazophenylen-1,3-diamin-monohydrochlorid s. Chrysoidinmonohydrochlorid											
1-Phenylazo-2-naphthol s. C.I. Solvent Yellow 14											
Phenylbenzol s. Biphenyl											
(4-Phenylbutyl)phosphinsäure [86552-32-1], 420-450-5	**3**										
4,4'-(1,3-Phenylen-bis(1-methylethyliden))bisphenol [13595-25-0], 428-970-4				**3**	Sh						
m-Phenylendiamin [108-45-2], 203-584-7	–	**3**	–	–	Sh				H		
m-Phenylendiamin-dihydrochlorid [541-69-5], 208-790-0	–	**3**	–	–	Sh				H		
o-Phenylendiamin [95-54-5], 202-430-6	**3**	**3**	–	–	Sh				H		
o-Phenylendiamin-dihydrochlorid [615-28-1], 210-418-7	**3**	**3**	–	–	Sh				H		
p-Phenylendiamin [106-50-3], 203-404-7	–	–	–	–	Sh	0,1 E		2(II)	H, Y	DFG	
(R)-α-Phenylethylammonium-(-)-(1R, 2S)-(1,2-epoxypropyl)-phosphonatmonohydrat [25383-07-7], 418-570-8				**3**							
Phenylglycidether s. Phenylglycidylether											
Phenylglycidylether (1,2-Epoxy-3-phenoxypropan) [122-60-1], 204-557-2	**2**	**3**			Sh				H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Phenylhydrazin [100-63-0], 202-873-5	2	3	–	–	Sh				H		
Phenylhydrazinhydrochlorid [27140-08-5], 248-259-0	2	3	–	–	Sh				H		
Phenylhydraziniumchlorid [59-88-1], 200-444-7	2	3	–	–	Sh				H		
Phenylhydraziniumsulfat, 2:1 [52033-74-6], 257-622-2	2	3	–	–	Sh				H		
Phenylisocyanat [103-71-9], 203-137-6					Sa	0,05	0,01	1(I)	12	AGS (1994)	
N-Phenyl-2-naphthylamin [135-88-6], 205-223-9	3				Sh						
4-Phenyl-nitrobenzol s. 4-Nitrobiphenyl											
Phenyloxiran s. Styroloxid											
Phenylphosphin [638-21-1], 211-325-4						0,05	0,01			AGS (2003)	
trans-4-Phenyl-L-prolin [96314-26-0], 416-020-1				3							
2-Phenylpropen s. Isopropenylbenzol											
Phosdrin s. Mevinphos											
Phosgen [75-44-5], 200-870-3						0,41	0,1	2(I)	Y	AGS, DFG (2009)	
Phosphamidon [13171-21-6], 236-116-5			3						H		
Phosphin [7803-51-2], 232-260-8						0,14	0,1	2(II)	Y	DFG, EU (2011)	
Phosphor, weiß/gelb [12185-10-3], 601-810-2						0,01 E		2(II)	Y	AGS (2008)	
Phosphoroxidchlorid [10025-87-3], 233-046-7						1,3	0,2	1(I)		DFG	
Phosphorpentachlorid [10026-13-8], 233-060-3						1 E		1(I)		DFG (2007)	
Phosphorpentasulfid s. Diphosphorpentasulfid											
Phosphorpentoxid (als Orthophosphorsäure) [1314-56-3], 215-236-1						2 E		2(I)	Y	DFG, AGS (2007)	
Phosphorsäure s. Orthophosphorsäure											
Phosphorsäuretrimethylester s. Trimethylphosphat											
Phosphortrichlorid [7719-12-2], 231-749-3						2,8	0,5	1(I)	Y	DFG	
Phosphorwasserstoff s. Phosphin											
Phosphoryltrichlorid s. Phosphoroxidchlorid											
Phoxim (ISO) [14816-18-3], 238-887-3				3	Sh						
* m-Phthalsäure [121-91-5], 204-506-4						5 E		2(I)	Y	DFG (2013)	
* p-Phthalsäure [100-21-0], 200-061-5						5 E		2(I)	Y	DFG (2013)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Pikrinsäure s. 2,4,6-Trinitrophenol											
Piperazin [110-85-0], 203-808-3			**3**	**3**	S	0,1		1(I)	6, 13	EU (2007)	
Piperazinhydrochlorid [6094-40-2], 228-042-7 Piperazindihydrochlorid [142-64-3], 205-551-2 Piperazinphosphat [1951-97-9], 217-775-8			**3**	**3**	S						
3-(Piperazin-1-yl)-benzo[d]iso-thiazolhydrochlorid [87691-88-1], 421-310-6				**3**	Sh						
Platin (Metall) [7440-06-4], 231-116-1						1 E			13	EU (2007)	
PMDI s. Diphenylmethan-4,4'-diiso-cyanat, Polymer											
* Polyalphaolefine z.B. [68649-12-7]						5 A		4(II)	Y	DFG (2012)	
Polychlorierte Biphenyle s. Chlorierte Biphenyle											
Polyethylenglykole (PEG) mittlere Molmasse 200 - 400						1 000 E		8(II)	Y	DFG (1997)	
Polyethylenglykol 600 (PEG 600)						1 000 E		8(II)	Y	DFG (1999)	
Polyvinylchlorid [9002-86-2]						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe s. Abschnitt 1.2											
Portlandzement (Staub) [65997-15-1], 266-043-4						5 E				DFG (1994)	
Profoxydim [139001-49-3]	**3**		**3**		Sh						
Propan [74-98-6], 200-827-9						1 800	1 000	4(II)		DFG	
Propan-1,2-diyldinitrat s. Propylenglykoldinitrat											
* Propan-2-ol [67-63-0], 200-661-7						500	200	2(II)	Y	DFG (1999)	BGW
2-Propanol, Herstellung von Starke-Säure-Verfahren	**1**										
3-Propanolid s. β-Propiolacton											
1,3-Propansulton [1120-71-4], 214-317-9	**2**								H		
Propargit [2312-35-8], 219-006-1	**3**										
Propargylalkohol (Prop-2-in-ol) [107-19-7], 203-471-2						4,7	2	2(I)	H	DFG (2001)	
Propazin [139-40-2], 205-359-9	**3**										
2-Propenal s. Acrylaldehyd											
2-Propen-1-ol s. Allylalkohol											
Propensäure-n-butylester s. n-Butylacrylat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
iso-Propenylbenzol s. Isopropenylbenzol											
Prop-2-in-2-ol s. Propargylalkohol											
β-Propiolacton (1,3-) (3-Propanolid) [57-57-8], 200-340-1	**2**								(H)		
Propionsäure [79-09-4], 201-176-3						31	10	2(I)	Y	DFG, EU (2007)	
Propoxur [114-26-1], 204-043-8						2 E		8(II)		DFG	
2-Propoxyethanol s. 2-(Propyloxy)ethanol											
2-Propoxyethylacetat s. 2-(Propyloxy)-ethylacetat											
iso-Propylalkohol s. 2-Propanol											
Propylallyldisulfid s. Allylpropyldisulfid											
iso-Propylamin s. 2-Aminopropan											
iso-Propylbenzol s. Cumol											
2-Propylbromid s. 2-Brompropan											
Propylendichlorid s. 1,2-Dichlorpropan											
Propylenglykoldinitrat [6423-43-4], 229-180-0						0,34	0,05	1(II)	H, 7	DFG	
Propylenglykol-2-methylether s. 2-Methoxy-1-propanol											
Propylenglykol-2-methylether-1-acetat s. 2-Methoxy-propylacetat-1											
Propylenglykol-1-mono-methyl-ether s. 1-Methoxy-2-propanol											
Propylenglykol-1-mono-methyl-ether-2-acetat s. 2-Methoxy-1-methylethylacetat											
Propylenimin (2-Methylaziridin) [75-55-8], 200-878-7	**2**								H		
1,2-Propylenoxid s. 1,2-Epoxypropan											
Propylenthioharnstoff [2122-19-2]			**3**								
iso-Propylether s. Di-isopropylether											
iso-Propylglycidylether [4016-14-2], 233-672-9	–	3	–	–					H		
n-Propylglykol s. 2-(Propyloxy)ethanol											
n-Propylglykolacetat s. 2-(Propyloxy)ethylacetat											
2-(Propyloxy)ethanol [2807-30-9], 220-548-6						86	20	2(I)	H, Y	DFG (1998)	
2-(Propyloxy)ethylacetat [20706-25-6]						120	20	2(I)	H, Y	DFG (1998)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
PVC s. Polyvinylchlorid											
Pymetrozin [123312-89-0]	**3**										
Pyrethrin I [121-21-1], 204-455-8						1 E		1(I)	Y, H	AGS (2007)	
Pyrethrin II [121-29-9], 204-462-6						1 E		1(I)	Y, H	AGS (2007)	
Pyrethrum (gereinigter Rohextrakt) [8003-34-7], 232-319-8						1 E		1(I)	Y, H R43 für Rohextrakt	AGS (2007)	
Pyridin-2-thiol-1-oxid, Natriumsalz s. Natriumpyrithion											
3-Pyridyl-N-methylpyrrolidin s. Nikotin											
Pyrogallol [87-66-1], 201-762-9		**3**							H		
Pyrolyseprodukte aus org. Material s. Abschnitt 1.2	1 oder 2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	**M**	**R_E**	**R_F**	**S**	**mg/m³**	**ml/m³**	**Spitzenbegrenzung**	**Bemerkungen**	**Herkunft (Jahr)**	
1	**2**	**3**	**4**		**5**	**6**		**7**	**8**	**9**	**10**
Quarz [14808-60-7], 238-878-4 s. Abschnitt 1.2											
* Quecksilber [7439-97-6], 231-106-7			**2**		Sh	0,02		8(II)	H	DFG, AGS, EU (2011)	BGW
Quecksilberdichlorid [7487-94-7], 231-299-8		**3**		**3**					H		
* Quecksilberverbindungen, anorganische					Sh	0,02 E		8(II)	H, 10	DFG, AGS, EU (2011)	BGW
Quinolin [91-22-5], 202-051-6	**2**	**3**							H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begrenzung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Resorcin s. 1,3-Dihydroxybenzol											
Resorcin-bis(2,3-epoxypropyl)-ether s. Diglycidylresorcinether											
Resorcinoldiglycidylether s. Diglycidylresorcinether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Safrol s. 5-Allyl-1,3-benzodioxol											
Salpetersäure [7697-37-2], 231-714-2						2,6	1		13, 16	EU (2007)	
Salzsäure s. Chlorwasserstoff											
* Schwefeldioxid [7446-09-5], 231-195-2						2,5	1	1(I)	Y	AGS (2011)	
Schwefelhexafluorid [2551-62-4], 219-854-2						6 100	1 000	8(II)		DFG	
Schwefelkohlenstoff s. Kohlenstoffdisulfid											
Schwefel-Lost s. 2,2‘-Dichlordiethylsulfid											
* Schwefelsäure [7664-93-9], 231-639-5						0,1 E		1 (I)	Y	DFG, EU (2011)	
Schwefelwasserstoff [7783-06-4], 231-977-3						7,1	5	2(I)	Y	EU, AGS, DFG (2011)	
Selen [7782-49-2], 231-957-4						0,05 E		1(II)	Y, (H)	DFG (2007)	
Selenverbindungen, anorganische						0,05 E		1(II)	Y, 10 (H)	DFG (2007)	
Selenwasserstoff s. Dihydrogenselenid											
Senfgas s. 2,2‘-Dichlordiethylsulfid											
Silber [7440-22-4], 231-131-3						0,1 E		8(II)		EU, DFG (1998)	
Silberverbindungen, anorganische						0,01 E		2(I)	10	EU (1992) DFG (1998)	
Siliciumcarbid (faserfrei) [409-21-2], 206-991-8						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Simazin [122-34-9], 204-535-2	**3**										
Stickstoff-Lost s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
Stickstoffwasserstoffsäure [7782-79-8], 231-965-8						0,18	0,1	2(I)		DFG	
Strontiumchromat [7789-06-2], 232-142-6	**2**										
Styrol [100-42-5], 202-851-5						86	20	2(II)	Y	DFG (1987)	BGW
Styroloxid [96-09-3], 202-476-7	**2**								H		
Sulfallat (ISO) [95-06-7], 202-388-9	**2**										
* Sulfotep [3689-24-5], 222-995-2						0,13	0,01	2(II)	H, Y, 11	DFG (2013)	
Sulfuryldifluorid [2699-79-8], 220-281-5						10				AUS-NL (2006)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m^3	ml/m^3	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4,5-T s. 2,4,5-Trichlorphenoxy-essigsäure											
Tantal [7440-25-7], 231-135-5						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
TCDD s. 2,3,7,8-Tetrachlor-dibenzo-p-dioxin											
TDI s. Diisocyanattoluol (2,4- und 2,6-)											
TEDP s. Sulfotep											
TEGDME s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
TEOS s. Tetraethylorthosilikat											
TEPP [107-49-3], 203-495-3						0,06	0,005	2(II)	H	DFG	
Tepraloxydim (ISO) [149979-41-9]	**3**		**3**	**3**							
1,4,5,8-Tetraaminoanthrachinon [2475-45-8], 219-603-7	**2**	–	–	–	Sh						
Tetrabordinatriumheptaoxid, Hydrat [12267-73-1], 235-541-3			**2**	**2**		0,5		2(I)	Y, 10	AGS (2007)	
5,6,12,13-Tetrachloranthra(2,1,9-def:6,5,10-d'e'f')diisochinolin-1,3,8,10(2H,9H)tetron [115662-06-1], 405-100-1				**3**							
2,4,5,6-Tetrachlorbenzo-1,3-dinitril s. Chlorthalonil											
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin [1746-01-6], 217-122-7	2								(H)		
1,1,1,2-Tetrachlor-2,2-difluorethan (R 112a) [76-11-9], 200-934-0						1700	200	2(II)		DFG (2007)	
1,1,2,2-Tetrachlor-1,2-difluorethan (R 112) [76-12-0], 200-935-6						1 700	200	2(II)		DFG (1990)	
1,1,2,2-Tetrachlorethan [79-34-5], 201-197-8	3	3	–	–		7	1	2(II)	H	DFG	
* Tetrachlorethen [127-18-4], 204-825-9	**3**	–	3	–		138	20	2(II)	H, Y	AGS, EU (2012)	BGW EKA
Tetrachlorethylen s. Tetrachlorethen											
Tetrachlorisophthalsäuredinitril s. Chlorthalonil											
Tetrachlorkohlenstoff s. Tetrachlormethan											
* Tetrachlormethan [56-23-5], 200-262-8	**3**					3,2	0,5	2(II)	H, Y	DFG (2004)	BGW
α,α,α,4-Tetrachlortoluol s. 4-Chlorbenzotrichlorid											
Tetradecanol [112-72-1], 204-000-3						178	20	1(I)		AGS (2006)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tetradecylammoniumbis(1-(5-chlor-2-oxidophenylazo)-2-naphtholato)chromat(1-) [88377-66-6], 405-110-6						10 E		2(II)	18	AGS (2009	
Tetraethylblei s. Bleitetraethyl											
Tetraethyldiphosphat s. TEPP											
O,O,O,O-Tetraethyldithiodiphosphat (TEDP) s. Sulfotep											
Tetraethylorthosilikat (TEOS) [78-10-4], 201-083-8						12	1,4	1(I)		AGS (2010)	
1,1,1,2-Tetrafluorethan [811-97-2], 212-377-0						4 200	1 000	8(II)	Y	DFG (1998)	
N,N,N‘,N‘-Tetraglycidyl-4,4‘-diamino-3,3‘-diethyl-diphenylmethan [130728-76-6], 410-060-3		**3**			Sh						
Tetrahydro-1,3-dimethyl-1H-pyrimidin-2-on [7226-23-5], 230-625-6				**3**							
* Tetrahydrofuran [109-99-9], 203-726-8	**3**					150	50	2(I)	H, Y	DFG (1999)	BGW
(±)-Tetrahydrofurfuryl-(R)-2-[4-(6-chlorchinoxalin-2-yloxy)-phenyloxy]propanoat [119738-06-6], 414-200-4		**3**	**2**	**3**							
3a,4,7,7a-Tetrahydro-4,7-methanoinden s. Dicyclopentadien											
1,2,3,6-Tetrahydro-N-(1,1,2,2-tetrachlorethylthio)phthalimid s. Captafol (ISO)											
Tetrahydrothiophen [110-01-0], 203-728-9						180	50	1(I)	Y, H	DFG (2008)	
Tetrahydrothiopyran-3-carboxaldehyd [61571-06-0], 407-330-8			**2**								
Tetrakis(hydroxymethyl)-phosphoniumchlorid; Reaktionsprodukt mit Harnstoff und destilliertem hydriertem C_{16-18}-Talgalkylamin [166242-53-1], 422-720-8	**3**				Sh						
N,N,N‘,N‘-Tetramethylacridin-3,6-yldiaminhydrochlorid und N,N,N‘,N‘-Tetramethylacridin-3,6-diaminmonohydrochlorid [65-61-2], 200-614-0 [10127-02-3], 233-353-6 Verbindung mit $ZnCl_2$	–	3	–	–							
2,2‘-((3,5‘,5,5‘-Tetramethyl-(1,1‘-biphenyl)-4,4‘-diyl)-bis(oxymethylen))bisoxiran [85954-11-6], 413-900-7	**3**				Sh						
Tetramethylblei s. Bleitetramethyl											
Tetramethyldiamino-benzophenon s. Michlers Keton											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tetramethyldiamino-diphenyl-acetimin-Hydrochlorid s. Auramin											
N,N,N‘,N‘-Tetramethyl-4,4‘-diaminodiphenylmethan, N,N,N‘,N‘-Tetramethyl-4,4‘-methylendianilin s. 4,4‘-Methylen-bis(N,N-dimethylanilin)											
N,N,N’,N’-Tetramethyl-4,4’-methylendianilin [101-61-1], 202-959-2	**2**										
Tetramethylorthosilikat [681-84-5], 211-656-4						2	0,3	1(I)		AGS (2006)	
Tetramethylsuccinnitril [3333-52-6]						1		2(II)		AGS (2007)	
Tetramethylthiuramdisulfid s. Thiram											
3,3‘,4,4‘-Tetramino-biphenyl s. 3,3‘-Diaminobenzidin											
Tetranitromethan [509-14-8], 208-094-7	2								(H)		
Tetraphosphor s. Phosphor gelb/weiß											
Tetryl s. N-Methyl-2,4,6,N-tetranitroanilin											
TGIC s. Triglycidylisocyanurat											
Thancat AN 20 s. 2-(2-[2-Hydroxyethoxy]ethyl)-2-azabicyclo[2.2.1]heptan											
Thiabendazol [148-79-8], 205-725-8						20 E		2(II)	Y	DFG (2010)	
Thioacetamid [62-55-5], 200-541-4	**2**										
Thiocarbamid s. Thioharnstoff											
4,4‘-Thiodianilin und seine Salze [139-65-1], 205-370-9	**2**								H		
p,p‘-Thiodianilin s. 4,4‘-Thiodianilin											
Thioharnstoff [62-56-6], 200-543-5	**3**	–	**3**	–							
Thiophanatmethyl [23564-05-8], 245-740-7		**3**			Sh						
2-Thiourea s. Thioharnstoff											
Thiram [137-26-8], 205-286-2					Sh	1 E		2(II)	6, Y	DFG (2007)	
THU s. Thioharnstoff											
Titandioxid [13463-67-7], 236-675-5						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
TNT s. 2,4,6-Trinitrotoluol											
Tobiassäure s. 2-Amino-1-naphthalinsulfonsäure											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
o-Tolidin s. 3,3'-Dimethylbenzidin											
o-Toluidin [95-53-4], 202-429-0	**2**								H		
p-Toluidin [106-49-0], 203-403-1	**3**	–	–	–	Sh				H		
p-Toluidiniumchlorid [540-23-8], 208-740-8	**3**				Sh				H		
p-Toluidinsulfat [540-25-0], 208-741-3	**3**				Sh				H		
* Toluol [108-88-3], 203-625-9	–	–	**3**	–		190	50	4(II)	H, Y	DFG (1994)	BGW
2,4-Toluylendiamin [95-80-7], 202-453-1	**2**	**3**		**3**	Sh				H		EKA
2,4-Toluylendiaminsulfat [65321-67-7], 265-697-8	**2**				Sh				H		
2,6-Toluylendiamin s. 2-Methyl-m-phenylendiamin											
2,4-Toluylendiisocyanat s. 2,4-Diisocyanattoluol											
2,6-Toluylendiisocyanat s. 2,6-Diisocyanattoluol											
4-o-Tolylazo-o-toluidin s. 2-Aminoazotoluol											
m-Tolylidendiisocyanat s. m-Diisocyanattoluol											
[(Tolyoxy)methyl]oxiran s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
Toxaphen s. Camphechlor											
Tremolit s. Asbest											
Triammonium-6-amino-3-((2,5-diethoxy-4-(3-phosphono-phenyl)azo)phenyl)azo-4-hydroxy-2-naphthalensulfonat; Diammonium-3-((4-((7-amino-1-hydroxy-3-sulfo-naphthalen-2-yl)azo)-2,5-diethoxyphenyl)azo) benzoat, Gemisch aus 438-310-7				**3**							
Triammonium-4-[4-[7-(4-carboxylatoanilino)-1-hydroxy-3-sulfonato-2-naphthylazo]-2,5-dimethoxyphenylazo]benzoat [221354-37-6], 432-270-4				**3**							
1,2,4-Triazol [288-88-0], 206-022-9			**3**								
1H-1,2,4-Triazol-3-ylamin s. Amitrol											
Tribleibis(orthophosphat) [7446-27-7], 231-205-5			**1**	**3**		s. Bleiverbindungen					BGW
Tribrommethan [75-25-2], 200-854-6	3										
Tri-n-butylphosphat [126-73-8], 204-800-2	**3**								H		
Tri-n-butylzinnverbindungen (als TBTO, Bis[tributylzinn]oxid)						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzen-begren-zung	Bemer-kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tributylzinnbenzoat*) [4342-36-3], 224-399-8						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnchlorid*) [1461-22-9], 215-958-7						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnfluorid*) [1983-10-4], 217-847-9						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnlinoleat*) [24124-25-2], 246-024-7						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnmethacrylat*) [2155-70-6], 218-452-4						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnnaphthenat*) [85409-17-2], 287-083-9						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Trichlorbenzol (alle Isomeren außer 1,2,4-) [12002-48-1], 234-413-4						38	5	2(II)	H, Y	DFG	
1,2,4-Trichlorbenzol [120-82-1], 204-428-0	–	–	–	–		3,8	0,5	4(II)	(H)	AGS (2003)	
1,1,1-Trichlor-2,2-bis- (4-chlorphenyl)ethan s. DDT											
2,3,4-Trichlor-1-buten [2431-50-7], 219-397-9	2 **3**								(H)		
1,1,1-Trichlorethan [71-55-6], 200-756-3						1 100	200	1(II)	H, Y	DFG	BGW
1,1,2-Trichlorethan [79-00-5], 201-166-9	**3**	–	–	–		55	10	2(II)	H	DFG	
Trichlorethen [79-01-6], 201-167-4	**2**	**3**							(H)		EKA
Trichlorethylen s. Trichlorethen											
Trichlorfluormethan (R 11) [75-69-4], 200-892-3						5 700	1 000	2(II)	Y	DFG	
Trichlormethan [67-66-3], 200-663-8	2 **3**	3	3	–		2,5	0,5	2(II)	Y, H	DFG (2007)	
1-Trichlormethylbenzol s. α,α,α-Trichlortoluol											
N-(Trichlormethylthio)phthalimid; Folpet [133-07-3], 205-088-6	**3**				Sh						
Trichlornitromethan [76-06-2], 200-930-9						0,68	0,1	1(I)		DFG	
2-Trichloromethylsulfanyl- 3a,4,7,7a-tetrahydroisoindo- le-1,3-dione s. Captan											
2,4,6-Trichlorphenol [88-06-2], 201-795-9	**3**										
* 2,4,5-Trichlorphenoxy- essigsäure (2,4,5-T) [93-76-5], 202-273-3						aufge.				2013	
1,2,3-Trichlorpropan [96-18-4], 202-486-1	**2**	3	–	**2**					H		
α,α,α-Trichlor-4-chlortoluol s. 4-Chlorbenzotrichlorid											
α,α,α-Trichlortoluol [98-07-7], 202-634-5 s. auch α-Chlortoluole	**2**								(H)		

*) *[als TBTO, Bis(tributylzinn)oxid]*

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan (R 113) [76-13-1], 200-936-1						3 900	500	2(II)		DFG	
Tridemorph [24602-86-6], 246-347-3			2								
Tridymit s. Quarz											
Triethylamin [121-44-8], 204-469-4						4,2	1	2(I)	H, 6	DFG (2001)	
Triethylarsenat [15606-95-8], 427-700-2	1										
Triethylenglykol s. 2,2'-(Ethylendioxy)diethanol											
Triethylenglykol-dimethylether s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
Trifluorbrommethan s. Bromtrifluormethan											
Trifluoriodmethan [2314-97-8], 219-014-5		3	–								
Trifluralin (ISO) (enthält < 0,5 ppm NPDA) [1582-09-8], 216-428-8	3				Sh						
Triglycidylisocyanurat [2451-62-9], 219-514-3	–	2	–	3	Sh						
Triglyme s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
1,2,3-Trihydroxybenzol s. Pyrogallol											
Triisobutylphosphat [126-71-6], 204-798-3					Sh	50		2(II)		AGS (2007)	
Trimellitsäureanhydrid (Rauch) s. Benzol-1,2,4-tricarbonsäure-1,2-anhydrid											
2,4,5-Trimethylanilin [137-17-7], 205-282-0 -hydrochlorid [21436-97-5]	2	–	–	–					H		
* 1,2,3-Trimethylbenzol [526-73-8], 208-394-8						100	20	2(II)	Y	EU DFG (2003)	BGW
* 1,2,4-Trimethylbenzol [95-63-6], 202-436-9						100	20	2(II)	Y	EU DFG (2003)	BGW
1,3,5-Trimethylbenzol s. Mesitylen											
3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on [78-59-1], 201-126-0	3	–	–	–		11	2	2(I)	H, Y	DFG (1997)	
Trimethylphosphat [512-56-1], 208-144-8	3	2							(H)		
Trimethylpropan-tri(3-aziridinyl-propanoat), (TAZ) [52234-82-9], 257-765-0		3			S						
Trinatrium-[4'-(8-acetylamino-3,6-disulfonato-2-naphthylazo)-4''-(6-benzoylamino-3-sulfonato-2-naphthylazo)-biphenyl-1,3',3'',1'''-tetraolato-O,O',O'',O''']kupfer(II) 413-590-3	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Trinatriumbis(7-acetamido-2)-(4-nitro-2-oxidophenylazo)-(3-sulfonato-1-naphtholato)-chromat(1-) 400-810-8		**3**									
Trinatriumnitriltriacetat [5064-31-3], 225-768-6	**3**										
2,4,7-Trinitrofluoren-9-on [129-79-3], 2049650	3										
2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure) [88-89-1], 201-865-9						0,1 E		1(I)	H, 13	EU (2007)	
2,4,6-Trinitrophenyl-methyl-nitramin s. N-Methyl-2,4,6-N-tetra-nitroanilin											
2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen) [118-96-7], 204-289-6	3					0,1	0,011	2(II)	H	DFG	
1,3,5-Trioxan [110-88-3], 203-812-5	–	–	**3**	–							
Trioxymethylen s. 1,3,5-Trioxan											
Triphenylphosphin [603-35-0], 210-036-0					Sh	5 E		2(II)	Y	DFG (2011)	
Triphenylzinnacetat s. Fentinacetat											
Triphenylzinnhydroxid s. Fentinhydroxid											
1,3,5-Tris(3-aminomethylethyl-phenyl)-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion und Oligomeren-gemisch aus 3,5-Bis(3-amino-methylphenyl)-1-poly[3,5-bis(3-aminomethylphenyl)-2,4,6-tri-azin-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-1-yl]-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion, Gemisch aus 421-550-1	**2**		**2**		Sh						
* Tris[2-chlor-1-(chlormethyl)ethyl]-phosphat [13674-87-8], 237-159-2	**3**										
Tris(2-chlorethyl)phosphat) [115-96-8], 204-118-5	2 **3**	–	–	**2**							
Tris(2,3-epoxypropyl)-1,3,5-triazin-2,4,6-trion s. Triglycidylisocyanurat											
1,3,5-Tris-[(2S und 2R)-2,3-epoxypropyl]-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H, 3H, 5H)-trion [59653-74-6], 423-400-0		**2**			Sh						
N,N‘,N‘-Tris(2-methyl-2,3-epoxy-propyl)-perhydro-2,4,6-oxo-1,3,5-triazin [26157-73-3], 435-010-8		**3**									
1,3,5-Tris(oxiranylmethyl)-1,3,5-triazin-2,4,6(1H,3H,5H)-trion s. Triglycidylisocyanurat											
* Trixylylphosphat [25155-23-1], 246-677-8				**2**							
Trizinat s. Blei-2,4,6-trinitroresorcinat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Urethan s. Ethylcarbamat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Valinamid [20108-78-5], 402-840-7				**3**	Sh						
Vanadiumpentoxid [1314-62-1], 215-239-8		**3**	**3**			0,05 A		1(II)		DFG	BGW
Vinclozolin [50471-44-8], 256-599-6	**3**		**2**	**2**	Sh						
Vinylacetat [108-05-4], 203-545-4	3					18	5	2(I)		AGS (2007)	
Vinylbutyrolactam s. N-Vinyl-2-pyrrolidon											
9-Vinylcarbazol [1484-13-5], 216-055-0	–	**3**	–	–	Sh				H		
Vinylchlorid [75-01-4], 200-831-0	**1**					s. Bemerk. 50			50	EU	
4-Vinylcyclohexen [100-40-3], 202-848-9	3	–	–	3					(H)		
4-Vinyl-1,2-cyclohexendiepoxid s. 1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclo-hexan											
Vinylidenchlorid s. 1,1-Dichlorethen											
Vinylidenfluorid s. 1,1-Difluorethen											
* N-Vinyl-2-pyrrolidon [88-12-0], 201-800-4	**3**	–	–	–		0,05	0,01	2(II)	H, Y	AGS (2011)	
Vinyltoluol s. Methylstyrol											
* Vitamin-K-Antagonisten											BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
* Warfarin [81-81-2], 201-377-6			**1**			0,02 E	0,0016	8(II)	H, Z, 11	DFG (2012)	
* Warfarinnatrium [129-06-6], 204-929-4						0,02 E		8(II)	H, Z	DFG (2012)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-Xylidin (2,4-Dimethylanilin) [95-68-1], 202-440-0	3								H		
2,6-Xylidin [87-62-7], 201-758-7	**3**	–	–	–					H		
Xylol (alle Isomeren) [1330-20-7], 215-535-7						440	100	2(II)	H	DFG	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im biologischen Material
	K	M	R_E	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Zinkchromate einschließlich Zinkkaliumchromat	**1**				Sh						
Zinn(II)-Verbindungen, anorganische						8 E			10	AGS (2007)	
Zinn(IV)-Verbindungen, anorganische						2 E			13, 10	EU (2007)	
Zirkonium [7440-67-7], 231-176-9 und wasserunlösliche Verbindungen						1 E		1(I)	10	DFG (2007)	

Anhang 1:
Biologische Grenzwerte (BGW)

Abkürzungen:

Untersuchungsmaterial:
B = Vollblut
B_E = Erythrozytenfraktion des Vollblutes
U = Urin
P/S = Plasma/Serum

Probennahmezeitpunkt:
a) keine Beschränkung
b) Expositionsende bzw. Schichtende
c) bei Langzeitexposition: nach mehreren vorangegangenen Schichten
d) vor nachfolgender Schicht
e) nach Expositionsende: ... Stunden

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs-material	Probennahme-zeitpunkt
Aceton [67-64-1]	Aceton	80 mg/l	U	b
Acetylcholinesterase-Hemmer	Acetylcholinesterase	Reduktion der Aktivität auf 70 % des Bezugswertes [1]	B_E	b, c
* Aluminium [7429-90-5]		BGW in Überprüfung		
Anilin [62-53-3]	Anilin (ungebunden)	1 mg/l	U	b, c
	Anilin (aus Hämoglobin-Konjugat freigesetzt)	100 µg/l	B	b, c
Blei [7439-92-1]	Blei	400 µg/l [2] 300 µg/l (Frauen < 45 J.)	B	a
Bleitetraethyl [78-00-2]	Diethylblei	25 µg/l, als Pb berechnet	U	b
	Gesamtblei (gilt auch für Gemische mit Bleitetramethyl)	50 µg/l	U	b
Bleitetramethyl [75-74-1]	s. Bleitetraethyl			
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan (Halothan) [151-67-7]	Trifluoressigsäure	2,5 mg/l	B	b, c
1-Butanol [71-36-3]	1-Butanol	2 mg/g Kreatinin	U	d
	1-Butanol	10 mg/g Kreatinin	U	b
2-Butanon (Methylethylketon) [78-93-3]	2-Butanon	5 mg/l	U	b
* 2-Butoxyethanol [111-76-2]	Butoxyessigsäure	100 mg/l	U	c
	Butoxyessigsäure (nach Hydrolyse)	200 mg/l	U	c
* 2-Butoxyethylacetat [112-07-2]	Butoxyessigsäure	100 mg/l	U	c
	Butoxyessigsäure (nach Hydrolyse)	200 mg/l	U	c
p-tert-Butylphenol (PTBP) [98-54-4]	PTBP	2 mg/l	U	b
* Chlorbenzol [108-90-7]	4-Chlor-katechol (nach Hydrolyse)	25 mg/g Kreatinin	U	d
		150 mg/g Kreatinin	U	b
* Cyclohexan [110-82-7]	1,2-Cyclohexandiol (nach Hydrolyse)	150 mg/g Kreatinin	U	c, b
1,2-Dichlorbenzol [95-50-1]	1,2-Dichlorbenzol	140 µg/l	B	b
	3,4- und 4,5-Dichlorkatechol	150 mg/g Kreatinin	U	b
* 1,4-Dichlorbenzol [100-46-7]		BGW in Überprüfung		
* Dichlormethan [75-09-2]		BGW in Überprüfung		
N,N-Dimethylacetamid [127-19-5]	N-Methylacetamid	30 mg/g Kreatinin	U	c, b
N,N-Dimethylformamid [68-12-2]	N-Methylformamid	35 mg/l	U	b
* Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat		BGW in Überprüfung		
2-Ethoxyethanol [110-85-5]	Ethoxyessigsäure	50 mg/l	U	c, b

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs-material	Probennahme-zeitpunkt
2-Ethoxyethylacetat [111-15-9]	Ethoxyessigsäure	50 mg/l	U	c, b
* Ethylbenzol [100-41-4]	Mandelsäure plus Phenylglyoxylsäure	300 mg/l	U	b
Ethylenglykoldinitrat [628-96-6]	Ethylenglykoldinitrat	0,3 µg/l	B	b
Fluorwasserstoff [7664-39-3] und anorganische Fluor-verbindungen (Fluoride)	Fluorid	7,0 mg/g Kreatinin	U	b
		4,0 mg/g Kreatinin	U	d
* Glycerintrinitrat [55-63-0]		BGW in Überprüfung		
n-Hexan [110-54-3]	2,5-Hexandion plus 4,5-Dihydroxy-2-hexanon	5 mg/l	U	b
2-Hexanon (Methylbutylketon) [591-78-6]	2,5-Hexandion plus 4,5-Dihydroxy-2-hexanon	5 mg/l	U	b
Kohlenstoffmonoxid [630-08-0]	CO-Hb	5 % [1]	B	b
Lindan (γ-1,2,3,4,5,6-Hexachlor-cyclohexan) [58-89-9]	Lindan	25 µg/l	P/S	b
* Mangan [7439-96-5] und seine anorganischen Verbindungen		BGW in Überprüfung		
Methanol [67-56-1]	Methanol	30 mg/l	U	c, b
* 2-Methoxyethanol [109-86-4]	Methoxyessigsäure	15 mg/g Kreatinin	U	b
* 2-Methoxyethylacetat [110-49-6]	Methoxyessigsäure	15 mg/g Kreatinin	U	b
* 1-Methoxypropan-2-ol [107-98-2]	1-Methoxypropan-2-ol	15 mg/l	U	b
4-Methylpentan-2-on (Methylisobutylketon) 108-10-1]	4-Methylpentan-2-on	3,5 mg/l	U	b
* N-Methylpyrrolidon [872-50-4]	5-Hydroxy-N-methyl-2-pyrrolidon	150 mg/l	U	b
Nitrobenzol [98-95-3]	Anilin (aus Hämoglobin-Konjugat freigesetzt)	100 µg/l	B	c
Parathion [56-38-2]	p-Nitrophenol plus	500 µg/l	U	c
	Acetylcholinesterase	Reduktion der Aktivität auf 70 % des Bezugswertes [1]	B_E	c
Perfluoroctansäure (Pentadeca-fluoroctansäure) [335-67-1] und ihre anorganischen Salze	Perfluoroctansäure (Pentadecafluoroctansäure)	5 mg/l	S	a
Perfluoroctansulfonsäure (Heptadecafluoroctan-1-sulfon-säure) [1763-23-1] und ihre Salze	Perfluoroctansulfonsäure (Heptadecafluoroctan-1-sul-fonsäure)	15 mg/l	S	a
* Phenol [108-95-2]		BGW in Überprüfung		
* 2-Propanol [67-63-0]	Aceton	25 mg/l	B	b
	Aceton	25 mg/l	U	b
* iso-Propylbenzol [98-82-8]		BGW in Überprüfung		
Quecksilber [7439-97-6], metallisches, und anorganische Quecksilberverbindungen	Quecksilber	25 µg/g Kreatinin (30 µg/l Urin)	U	a
* Quecksilber, organische Quecksilberverbindungen		BGW in Überprüfung		
Schwefelkohlenstoff (Kohlendisulfid) [75-15-0]	2-Thiothiazolidin-4-carboxylsäure (TTCA)	4 mg/g Kreatinin [1]	U	b
Styrol [100-42-5]	Mandelsäure plus Phenylglyoxylsäure	600 mg/g Kreatinin	U	c, b
* Tetrachlorethen (Perchlorethylen) [127-18-4]		BGW in Überprüfung		
* Tetrachlormethan (Tetrachlor-kohlenstoff) [56-23-5]	Tetrachlormethan	3,5 µg/l	B	b, c
Tetrahydrofuran [109-99-9]	Tetrahydrofuran	2 mg/l	U	b

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs-material	Probennahme-zeitpunkt
Toluol [108-88-3]	Toluol	600 µg/l	B	b
	o-Kresol (nach Hydrolyse)	1,5 mg/l	U	c, b
1,1,1-Trichlorethan (Methylchloroform) [71-55-6]	1,1,1-Trichlorethan	550 µg/l	B	c, d
* Trimethylbenzol (alle Isomeren): 1,2,3-Trimethylbenzol [526-73-8]; 1,2,4-Trimethylbenzol, Mesitylen [95-63-6] 1,3,5-Trimethylbenzol [108-67-8]	Dimethylbenzoesäuren (Summe aller Isomeren nach Hydrolyse)	400 mg/g Kreatinin	U	c, b
* Vanadiumpentoxid [1314-62-1]		BGW in Überprüfung		
* Vitamin K-Antagonisten	Quick-Wert	Reduktion auf nicht weniger als 70 % [1]	B	a
Xylol (alle Isomeren) [1330-20-7]	Xylol	1,5 mg/l	B	b
	Methylhippur-(Tolur-)säure	2 g/l	U	b

[1] *Ableitung des BGW als Höchstwert wegen akut toxischer Effekte*

[2] *Beibehaltung des bisherigen BGW als Umsetzung der RL 98/24/EG, Neufestsetzung in Vorbereitung*

1.2 Besondere Stoffgruppen

Folgende Tätigkeiten und Verfahren werden in der TRGS 906 als krebserzeugend der Kategorie 1 oder 2 bezeichnet:

(1) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte Hartholzstäuben ausgesetzt sind.

Verzeichnis einiger Hartholzarten nach TRGS 906 bzw. Anhang I Nr. 5 der Richtlinie 2004/37/EG

Quelle: Band 62 der vom Internationalen Krebsforschungszentrum (IARC) veröffentlichten Monografie zur Evaluierung von Krebsrisiken für den Menschen: Wood Dust and Formaldehyde, Lyon, 1995

Harthölzer sind insbesondere:

Afrikanisches Mahagoni *(Khaya)*
Afrormosioa *(Pericopis elata)*
Ahorn *(Acer)*
Balsa *(Ochroma)*
Birke *(Betula)*
Brasilianisches Rosenholz *(Dalbergia nigra)*
Buche *(Fagus)*
Ebenholz *(Diospyros)*
Eiche *(Quercus)*
Erle *(Alnus)*
Esche *(Fraxinus)*
Hickory *(Carya)*
Iroko *(Chlorophora excelsa)*
Kastanie *(Castanea)*
Kaurikiefer *(Agathis australis)*
Kirsche *(Prunus)*
Limba *(Terminalia superba)*
Linde *(Tilia)*
Mansonia *(Mansonia)*
Meranti *(Shorea)*
Nyaoth *(Palaquium hexandrum)*
Obeche *(Triplochiton scleroxylon)*
Palisander *(Dalbergia)*
Pappel *(Populus)*
Platane *(Platanus)*
Rimu, Red Pine *(Dacrydium cupressinum)*
Teak *(Tectona grandis)*
Ulme *(Ulmus)*
Walnuss *(Juglans)*
Weide *(Salix)*
Weißbuche *(Carpinus)*

(2) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte krebserzeugenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen ausgesetzt sind, die in Pyrolyseprodukten aus organischem Material (z. B. Steinkohlenruß, Steinkohlenteer oder Steinkohlenpech) vorhanden sein können. Es ist zulässig, als Bezugssubstanz für Pyrolyseprodukte mit krebserzeugenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen den Stoff Benzo[a]pyren zu wählen.

(3) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte in Bereichen arbeiten, bei denen Dieselmotoremissionen freigesetzt werden.

(4) Die Herstellung von Auramin

(5) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte Staub, Rauch oder Nebel beim Rösten oder bei der elektrolytischen Raffination von Nickelmatte[1] ausgesetzt sind.

(6) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte alveolengängigen Stäuben aus kristallinem Siliciumdioxid in Form von Quarz und Cristobalit ausgesetzt sind (ausgenommen Steinkohlengrubenstaub).

(7) Starke Säure-Verfahren bei der Herstellung von Isopropanol

Stoffgruppen, die in der TRGS 905 als krebserzeugend aufgeführt sind

- Krebserzeugende Azofarbstoffe

Azofarbstoffe mit einer krebserzeugenden Aminkomponente (R45): Zubereitungen von Azofarbstoffen mit krebserzeugender Aminkomponente der Kategorie 1 oder 2 sind nach § 3 Absatz 2 GefStoffV und TRGS 905 Nr. 4 entsprechend ihrem Gehalt an potenziell durch reduktive Azospaltung freisetzbarem krebserzeugendem Amin und dem Gehalt des Azofarbstoffes in der Zubereitung als krebserzeugend einzustufen (R45).

- Anorganische Faserstäube (außer Asbest)[2, 3]

(1) Dieser Abschnitt gilt für Fasern mit einer Länge > 5 µm, einem Durchmesser < 3 µm und einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von > 3:1 (WHO-Fasern). Er gilt für Fasern aus Glas, Stein, Schlacke oder Keramik und die anderen in diesem Abschnitt genannten Fasern (ausgenommen Asbest).

(2) Die Bewertung der glasigen Fasern erfolgt nach den Kategorien für krebserzeugende Stoffe in Anhang VI Nr. 4.2.1 der Richtlinie 67/548/EWG und auf der Grundlage des Kanzerogenitätsindexes K_I, der sich für die jeweils zu bewertende Faser aus der Differenz zwischen der Summe der Massengehalte (in v.H.) der Oxide von Natrium, Kalium, Bor, Calcium, Magnesium, Barium und dem doppelten Massengehalt von Aluminiumoxid ergibt.

$K_I = \Sigma$ Na, K, B, Ca, Mg, Ba-Oxide – 2 · Al-Oxid

a) Glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_I \leq 30$ werden in die Kategorie 2 eingestuft.

b) Glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_I > 30$ und < 40 werden in die Kategorie 3 eingestuft.

[1] *Nickelstein, hergestellt durch Sulfidierung von Ferronickel mit Schwefel*

[2] *Zur Einstufung von Asbest und Erionit siehe dort*

[3] *Zur Ermittlung des K_I-Wertes siehe IFA Arbeitsmappe 7488*

c) Für glasige WHO-Fasern erfolgt keine Einstufung als krebserzeugend, wenn deren Kanzerogenitätsindex $K_I \geq 40$ beträgt.

(3) Die Einstufung der glasigen WHO-Fasern kann auch durch einen Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, vorgenommen werden. Dies empfiehlt sich insbesondere für WHO-Fasern mit einem K_I-Index ≥ 25 und < 40.

– Wird für glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_I \leq 30$ in einem Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $1 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2.

  Dagegen erfolgt eine Einstufung in Kategorie 3, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

– Wird für glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_I > 30$ und < 40 in einem Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $1 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2.

Dagegen erfolgt eine Einstufung in Kategorie 3, wenn bei einer Dosis von $1 \cdot 10^9$ WHO-Fasern keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

In diesem Fall empfiehlt es sich, zusätzlich einen Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $5 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, durchzuführen. Wird bei dieser Dosis eine krebserzeugende Wirkung der Fasern nachgewiesen, wird die Einstufung in Kategorie 3 beibehalten. Dagegen erfolgt keine Einstufung der Fasern, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

– Wird für glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_I \geq 40$ in einem Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $5 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 3.

  Dagegen erfolgt keine Einstufung der Fasern, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

(4) Die Einstufung der glasigen WHO-Fasern kann auch durch Bestimmung der In-vivo-Biobeständigkeit erfolgen. Danach erfolgt eine Einstufung in die Kategorie 3 der krebserzeugenden Stoffe, wenn für glasige WHO-Fasern nach intratrachealer Instillation von $4 \cdot 0{,}5$ mg Fasern in einer Suspension eine Halbwertzeit von mehr als 40 Tagen ermittelt wurde. Die WHO-Fraktion der instillierten Faserprobe sollte einen mittleren geometrischen Durchmesser von 0,6 µm oder mehr aufweisen. Faserproben mit kleinerem Durchmesser können geprüft werden, falls dies mit dem geringeren Durchmesser des Ausgangsmaterials begründet werden kann. Die Halbwertzeit sollte mit der nicht-linearen exponentiellen Regression gemäß ECB/TM 27 rev. 7 berechnet werden. Falls nach den dort genannten Kriterien eine biphasige Eliminationskinetik zur Beschreibung der Retentionsdaten erforderlich ist, ist die Halbwertzeit der langsamen Eliminationsphase zur Bewertung heranzuziehen. Kriterien für die Einstufung in die Kategorie 2 sind noch zu erarbeiten.

(5) Folgende Typen von WHO-Fasern, für die positive Befunde aus Tierversuchen (inhalativ, intratracheal, intrapleural, intraperitoneal) vorliegen, werden in die Kategorie 2 eingestuft:

– Attapulgit (Palygorskit)

– Dawsonit

– Künstliche kristalline Keramikfasern (Whiskers oder Hochleistungskeramikfasern) aus

  – Aluminiumoxid
  – Kaliumtitanaten
  – Siliciumkarbid u.a.

(6) Alle anderen anorganischen Typen von WHO-Fasern werden in die Kategorie 3 eingestuft, wenn die vorliegenden tierexperimentellen Ergebnisse (einschließlich Daten zur Biobeständigkeit) für eine Einstufung in die Kategorie 2 nicht ausreichen. Dies betrifft derzeit folgende:

– Halloysit
– Magnesiumoxidsulfat
– Nemalith
– Sepiolith
– anorganische Faserstäube, soweit nicht erwähnt (ausgenommen Gipsfasern und Wollastonitfasern)

- Krebserzeugende Arzneistoffe

Von krebserzeugenden Eigenschaften der Kategorien 1 und 2 ist bei Substanzen auszugehen, denen ein gentoxischer therapeutischer Wirkungsmechanismus zugrunde liegt. Erfahrungen in der Therapie mit alkylierenden Zytostatika wie Cyclophosphamid, Ethylenimin, Chlornaphazin sowie mit arsen- und teerhaltigen Salben, die über lange Zeit angewendet worden sind, bestätigen dies insofern, als bei so behandelten Patienten Tumorneubildungen beschrieben worden sind.

- Passivrauchen

Passivrauchen wurde nach den Kriterien der GefStoffV in Verbindung mit den dort in Bezug genommenen Richtlinien der EG bewertet, die Begründung ist als Bekanntmachung des AGS zugänglich unter www.baua.de. Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz werden durch das Arbeitsschutzgesetz und die Arbeitsstättenverordnung geregelt.

2 Gefahrstoffe in Innenräumen und in der Außenluft

2.1 Einführung und Erläuterungen

Die Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros gibt immer wieder Anlass zur Diskussion über die heranzuziehenden Beurteilungswerte.

Die gesetzliche Grundlage für den Arbeitsschutz liefert das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1]. Dessen Vorschriften werden auf der hierarchisch darunter liegenden Verordnungsebene durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [2] und durch spezielle Verordnungen wie die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [3] konkretisiert.

Im Allgemeinen dienen zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft Grenzwerte, die entsprechend dem jeweiligen Anwendungsbereich definiert sind. Für die in der Arbeitswelt vorkommenden gefährlichen Stoffe nach GefStoffV sind Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) in der TRGS 900 [4] festgelegt. Die Arbeitsplatzgrenzwerte gelten jedoch nur an solchen Arbeitsplätzen, an denen im Sinne der Gefahrstoffverordnung Tätigkeiten mit den betreffenden Gefahrstoffen durchgeführt werden oder diese bei den Tätigkeiten entstehen. Für Innenraumarbeitsplätze, die nicht in den Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung fallen, sind keine Arbeitsplatzgrenzwerte festgesetzt.

Stattdessen sind hier die allgemeinen Angaben zur Lüftung nach Anhang 3.6 der ArbStättV zu befolgen. Demnach muss in Arbeitsräumen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein. Diese Forderung gilt nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A 3.6 Lüftung [5] dann als erfüllt, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Die Außenluftqualität ist dabei nicht definiert; sie wird aber u. a. durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [6] geregelt.

Die für den Außenluftbereich festgelegten Immissionswerte oder andere Beurteilungswerte sind für den Innenraumbereich jedoch nicht ohne Weiteres anwendbar, da sie z. B. auf den Schutz empfindlicher Pflanzen oder Tiere und nicht auf den Schutz des Menschen ausgerichtet sein können. In der Praxis bereitet die Ermittlung der Außenluftqualität immer dann Probleme, wenn die Außenluft belastet ist und trotzdem als Vergleichsmaßstab für die Innenraumluft herangezogen werden soll.

Derzeit werden in Deutschland zur Beurteilung der Exposition an Innenraumarbeitsplätzen sowie in der Außenluft Werte sehr unterschiedlicher Art und Herkunft herangezogen. Diese Werte sind – anders als die Grenzwerte für Arbeitsplätze – nicht in einer einheitlichen verbindlichen Regel zusammengefasst und haben insbesondere auch keine einheitliche rechtliche Relevanz. So haben praktisch alle für Innenräume aufgestellten Werte lediglich den Charakter einer Empfehlung. Die wichtigsten für die Innenraumluft und für die Außenluft herangezogenen Beurteilungswerte werden im Folgenden dargestellt.

Richtwerte des Umweltbundesamtes für die Innenraumluft

Die allgemein für Innenräume einschließlich Wohnräume abgeleiteten und toxikologisch begründeten Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden [7] erfüllen am ehesten die Kriterien für eine valide Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen. Dabei wird zwischen dem Richtwert I (RW I) und dem Richtwert II (RW II) unterschieden:

„Der Richtwert II (RW II – Gefahrenrichtwert) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein. Je nach Wirkungsweise des Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder als Langzeitwert (RW II L) definiert werden.“

„Der Richtwert I (RW I – Vorsorgerichtwert) beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden.“

„Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und Richtwert II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Maßnahmen am Gebäude (handeln muss in diesem Fall der Gebäudebetreiber) oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen.“

Im Gegensatz zu den auf acht Stunden bezogenen Arbeitsplatzgrenzwerten handelt es sich bei den Richtwerten üblicherweise um Langzeitwerte (24 Stunden an sieben Tagen pro Woche), die auch für Kinder und Kranke gelten. Ihre Anwendung wird dadurch eingeschränkt, dass es derzeit nur für eine sehr begrenzte Anzahl von Einzelstoffen Richtwerte gibt.

EG-Richtlinien

Die Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa [8], die am 21. Mai 2008 zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt insgesamt verabschiedet wurde, schafft eine europaweit gültige Grundlage für die Beurteilung und Kontrolle der Außenluftqualität. In ihr sind Grenzwerte, Zielwerte sowie Informations- und Alarmschwellen für ausgewählte Luftschadstoffe festgelegt. Im Zuge ihrer Umsetzung wurden die Richtlinien 96/62/EG [9], 1999/30/EG [10], 2000/69/EG [11] und 2002/3/EG [12] mit Wirkung vom 11. Juni 2010 aufgehoben. Weiterhin gültig ist dagegen die Richtlinie 2004/107/EG [13] über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.

Bundesimmissionsschutzrecht

Die Umsetzung der Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht erfolgte durch das Achte Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 31. Juli 2010 [14] sowie durch die 39. Bundesimmissionsschutzverordnung [15] (BImSchV). Die 22. und 33. BImSchV [16; 17] wurden aufgehoben. Deren Regelungen, die über die Richtlinie 2008/50/EG hinausgehen, sind in der 39. BImSchV übernommen worden. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz wird durch die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [18] als Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift ergänzt. In ihr sind u. a. Immissionswerte aufgeführt, die zum Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen, des Bodens, des Wassers, der Atmosphäre sowie von Kultur- und sonstigen Sachgütern vor schädlichen Umwelteinwirkungen sowie zur Vorbeugung des Entstehens schädlicher Umwelteinwirkungen einzuhalten sind.

WHO-Leitlinien (Air Quality Guidelines)

1987 stellte eine Arbeitsgruppe der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erstmals Leitlinien für die Luftqualität in Europa (Air Quality Guidelines for Europe) auf [19]. In der Folgezeit wurde die Methodik zur Risikoabschätzung weiterentwickelt. Daher überarbeitete das Europäische WHO-Zentrum für Umwelt und Gesundheit in enger Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission und dem Internationalen Programm für Chemikaliensicherheit (IPCS) die Leitlinien und brachte im Jahr 2000 eine 2. Ausgabe heraus [20].

Die Leitlinien wurden zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen und für die Beseitigung oder Verringerung der Belastung durch diese Schadstoffe, die nachweislich oder wahrscheinlich gefährlich für die Gesundheit oder das Wohlergehen des Menschen sind, aufgestellt. Diese gelten sowohl für die Außen- als auch für die Innenraumluft. Für die einzelnen Stoffe wurden Leitwerte festgelegt, bei deren Einhaltung die Gesundheit der Bevölkerung – entweder absolut oder zumindest für einen bestimmten Zeitraum – nicht signifikant gefährdet wird.

Die Ableitung der Leitwerte stützt sich – sofern vorhanden – auf epidemiologische Erkenntnisse und berücksichtigt die toxikologischen Erkenntnisse, wobei zum Schutz empfindlicher Bevölkerungsgruppen Sicherheitsfaktoren eingebracht wurden. Für krebserzeugende Stoffe ist kein Konzentrationswert angegeben, sondern nur das „unit risk“, das angibt, welches anteilige Krebsrisiko einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von meist 1 $\mu g/m^3$ zuzuschreiben ist.

Neben den Leitlinien für die Europäische Union wurden im Jahre 2006 weltweit gültige Leitwerte für Staub, Ozon, Schwefeldioxid sowie Stickstoffdioxid herausgegeben [21].

Im Jahre 2009 veröffentlichte die WHO erstmals Leitlinien für die Innenraumluftqualität zum Schutz der öffentlichen Gesundheit vor Gesundheitsrisiken durch Feuchtigkeit und damit verbundenem Wachstum von Mikroorganismen [22]. Diese Leitlinien wurden im Jahre 2010 durch weitere Leitlinien für einige häufig in der Innenraumluft vorkommende Chemikalien ergänzt [23].

Maximale Immissionskonzentrationen (MIK)

Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) erarbeitet Maximale Immissionswerte (d. h. Maximale Immissionskonzentrationen – MIK – und Maximale Immissionsraten) [24], *„bei deren Einhaltung der Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen, Boden, Wasser, Atmosphäre sowie Kultur- und sonstigen Sachgütern nach derzeitigem Wissenstand und nach Maßgabe der dazugehörigen Kriterien gewährleistet ist“*. In der folgenden Tabelle der Beurteilungswerte der Gefahrstoffexposition in der Außen- und Innenluft werden nur diejenigen MIK genannt, die auf den Menschen bezogen abgeleitet wurden.

2.2 Tabelle der Beurteilungswerte der Gefahrstoffexposition in der Außen- und Innenluft

Hinweise:

a) (I) = Innenluft; (A) = Außenluft

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Acrylnitril	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $2{\cdot}10^{-5}$.
Alkylbenzole (C_9 bis C_{15})	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen Summenrichtwert.
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen Summenrichtwert.
Arsen	0,006	Jahres-mittelwert	Zielwert (A)	Mensch	2004/107/EG [13] 39. BImSchV [15]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Arsen in der PM_{10}-Fraktion dar. Er darf seit dem 31. Dezember 2012 nicht über-schritten werden.
	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $1{,}5{\cdot}10^{-3}$.
Asbest	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition ge-genüber einer Konzentration von 500 Fasern/m³ (optisch gemessen) liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei 10^{-6} bis 10^{-5}, (mesothelioma risk 10^{-5} bis 10^{-4}).
acyclische aliphatische C_4- bis C_{11}-Aldehyde	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen Summenrichtwert.
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen Summenrichtwert.
Benzaldehyd	200	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Angesichts der lückenhaften und un-sicheren Datenlage wird der Richtwert nur unter Vorbehalt empfohlen und als vorläufig angesehen.
	20	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Angesichts der lückenhaften und un-sicheren Datenlage wird der Richtwert nur unter Vorbehalt empfohlen und als vorläufig angesehen.
Benzo(a)-pyren	siehe polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)					
Benzol	5	Jahres-mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	5	Jahres-mittelwert	Immissions-wert (A)	Mensch	TA Luft [18]	
	–	–	–	–	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23] WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Leukämie zu erkranken, bei $6{\cdot}10^{-6}$.

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Benzylalkohol	4 000		Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	400		Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Blei	0,5	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	0,5	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	Mensch	TA Luft [18]	Dieser Wert stellt den Gehalt an Blei und seinen anorganischen Verbindungen (angegeben als Blei) im Schwebstaub (PM_{10}) dar.
	0,5	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Butanal	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Cadmium	0,005	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	Mensch	2004/107/EG [13] 39. BImSchV [15]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Cadmium in der PM_{10}-Fraktion dar. Er darf seit dem 31. Dezember 2012 nicht überschritten werden.
	0,02	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	Mensch	TA Luft [18]	Dieser Wert stellt den Gehalt an Cadmium und seinen anorganischen Verbindungen im Schwebstaub (PM_{10}) dar.
	0,005	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Der Leitwert soll eine Erhöhung des Cadmiumgehalts in Agrarböden vermeiden, da vermutet wird, dass dies auch zu einer erhöhten Aufnahme in den Körper führt.
Chrom(VI)	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $4 \cdot 10^{-2}$.
1,2-Dichlorethan	700	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Dichlormethan	2 000	24-h-Mittelwert	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	200	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	3 000	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
	450	Wochenmittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Diethylenglykolbutylether (DEGBE)	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	400	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Diethylenglykoldimethylether (DEGDME)	300	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	30	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Diethylenglykolmethylether (DEGME)	6 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	2 000	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Diethylenglykolmonoethylether (DEGEE)	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	700	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Diisocyanate	–	–	–	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Die Festlegung eines Richtwertes II für Diisocyanate (DI) hat die Arbeitsgruppe nicht als sinnvoll erachtet: Eine möglicherweise anfänglich erhöhte Konzentration in der Raumluft bei der Verarbeitung von diisocyanathaltigen Lacken und Klebern sinkt rasch ab, da Diisocyanate während des Aushärtevorgangs abreagieren. Generell sollte beim Verarbeiten DI-haltiger Produkte gut gelüftet werden.
Dipropylenglykolmethylether (DPGME)	7 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	2 000	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Ethylbenzol	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	200	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Ethylenglykolbutylether (EGBE)	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Ethylen-glykolbutyl-etheracetat (EGBEA)	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefunde-nen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebil-det und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	200	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Ethylen-glykolhexyl-ether (EGHE)	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefunde-nen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert ad-diert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Ethylen-glykolmono-ethylether (EGEE)	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefunde-nen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebil-det und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Ethylen-glykolmono-ethylether-acetat (EGEEA)	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefunde-nen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert ad-diert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	200	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Ethylen-glykolmono-methylether (EGME)	200	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefunde-nen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebil-det und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	20	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Feinstaub ($PM_{2,5}$)	25	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	Es konnte keine Schwellenkonzentra-tion festgestellt werden, unterhalb derer die Feinstaubkonzentration in der Umwelt keine Auswirkung auf die Gesundheit hätte. Daher sollte der Leitwert wenn möglich unterschritten werden. In vielen Städten kann aller-dings bereits der Leitwert nur schwer eingehalten werden.
	10	Jahres-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	
Feinstaub (PM_{10})	50	24-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Dieser Wert darf nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden.
	40	Jahres-mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	50	24-h-Mittelwert	Immissions-wert (A)	Mensch	TA Luft [18]	Dieser Wert darf nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden.
	40	Jahres-mittelwert	Immissions-wert (A)	Mensch	TA Luft [18]	
	50	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	Es konnte keine Schwellenkonzentra-tion festgestellt werden, unterhalb derer die Feinstaubkonzentration in der Umwelt keine Auswirkung auf die Gesundheit hätte. Daher sollte der Leit-wert wenn möglich unterschritten wer-den. In vielen Städten wäre allerdings bereits die Einhaltung des Leitwertes vorteilhaft.
	20	Jahres-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Fluorverbindungen	1	–	Leitwert (A)	Flora und Fauna	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Der Leitwert sollte auch zum Schutz des Menschen ausreichen.
Formaldehyd	120 (0,1 ppm)	–	Richtwert (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	100	½-h-Mittelwert	Leitwert (I)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	Die Einhaltung dieses Wertes sollte Einschränkungen der Lungenfunktion sowie die Entstehung von Nasenrachenkrebs und myeloischer Leukämie verhindern.
	100	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
2-Furaldehyd	100	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	10	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Isopropylbenzol	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Keramikfasern	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 Faser/l liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-6}$.
Kresole	50	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	5	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Kohlenmonoxid	10 000	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	60 000	½-h-Mittelwert	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	15 000	8-h-Mittelwert	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	6 000	½-h-Mittelwert	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
	1 500	8-h-Mittelwert	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Kohlen-monoxid (Fortsetzung)	100 000	15-min-Mittelwert	Leitwert (I)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	
	35 000	1-h-Mittelwert	Leitwert (I)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	
	10 000	8-h-Mittelwert	Leitwert (I)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	
	7 000	24-h-Mittelwert	Leitwert (I)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	
	100 000	15-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Die Exposition darf den angegebenen Zeitraum nicht überschreiten und sollte innerhalb von 8 Stunden nicht noch-mals auftreten.
	60 000	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Die Exposition darf den angegebenen Zeitraum nicht überschreiten und sollte innerhalb von 8 Stunden nicht noch-mals auftreten.
	30 000	1-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Die Exposition darf den angegebenen Zeitraum nicht überschreiten und sollte innerhalb von 8 Stunden nicht noch-mals auftreten.
	10 000	8-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Kohlenstoff-disulfid	100	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
	20	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Dieser Wert stellt den Leitwert für die Geruchsbelästigung dar.
Kohlen-wasserstoff-gemische, aromatenarm	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	200	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Der RW I sollte auch Schutz vor Geruchsbelästigungen bieten.
Lindan	1	-	Empfehlung (I)	Mensch	ehemaliges Bundesgesund-heitsamt [25]	Die Heranziehung dieses Wertes wird bei der Beurteilung von Sanierungs-maßnahmen empfohlen. Der Wert ist nicht toxikologisch begrün-det, hat sich aber unter Vorsorgeaspek-ten praktisch bewährt.
Mangan	0,15	Jahres-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Methyliso-butylketon	1 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	100	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Naphthalin	20	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	2	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Der RW I sollte auch Schutz vor Geruchsbelästigungen bieten.
	10	Jahres-mittelwert	Leitwert (I)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	Der Langzeit-Leitwert soll mögliche bösartige Erkrankungen der Atemwege verhindern.
Nickel	0,02	Jahres-mittelwert	Zielwert (A)	Mensch	2004/107/EG [13] 39. BImSchV [15]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Nickel in der PM_{10}-Fraktion dar; er darf seit dem 31. Dezember 2012 nicht überschritten werden.
	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $4 \cdot 10^{-4}$.
Ozon	240	1-h-Mittelwert	Alarmschwel-le (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	180	1-h-Mittelwert	Informations-schwelle (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	120	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages	Zielwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Dieser Wert darf an höchstens 25 Tagen pro Jahr überschritten werden.
	120	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages während eines Jahres	langfristiges Ziel (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	120	½-h-Mittelwert	Maximale Immissions-Konzentra-tion (A)	Mensch	VDI 2310 Blatt 15 [26]	Gilt für Wohngebiete
	100	8-h-Mittelwert	Maximale Immissions-Konzentra-tion (A)	Mensch	VDI 2310 Blatt 15 [26]	Gilt für Wohngebiete
	100	8-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	Dieser Wert stellt einen ausreichenden Schutz der Gesundheit der Bevölke-rung sicher, obwohl bei sensiblen Per-sonen auch unterhalb dieses Wertes gesundheitliche Wirkungen auftreten können.
Pentachlor-phenol	1	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	0,1	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Phenol	200	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	20	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
polychlorierte Biphenyle	› 3	–	Empfehlung (I)	Mensch	ehemaliges Bundesgesundheitsamt [25]	Oberhalb dieses Wertes sollte baldmöglichst saniert werden.
	‹ 0,3	–	Empfehlung (I)	Mensch	ehemaliges Bundesgesundheitsamt [25]	Konzentrationen unterhalb dieses Wertes sind als unbedenklich anzusehen.
	3		Beurteilungsmaßstab	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Wenn eindeutig Fugenmassen mit PCB vorliegen, deren Chlorierungsgrad geringer ist als Clophen A60, dienen die Gesamt-PCB, basierend auf sechs Indikator-PCB (ohne PCB_{118}) als Beurteilungsmaßstab. Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von 3 µg/m³ für Gesamt-PCB sind expositionsmindernde Maßnahmen zu prüfen. Bei Konzentrationen darunter ist das Lüftungsverhalten zu überprüfen und ggf. zu verbessern.
	0,01		Beurteilungsmaßstab	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Dieser Wert gibt die Konzentration von PCB_{118} an. Er gilt für einen Gesamt-PCB-Gehalte größer 1 µg/m³ bei hauptsächlich hochchlorierten Clophenen als PCB-Quellen. Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von 0,01 µg/m³ PCB_{118} sind expositionsmindernde Maßnahmen zu prüfen. Bei Konzentrationen darunter ist das Lüftungsverhalten zu überprüfen und ggf. zu verbessern.
polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) Leitsubstanz: Benzo[a]pyren	0,001	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	Mensch	2004/107/EG [13] 39. BImSchV [15]	Der Wert stellt den Gesamtgehalt an PAK in der PM_{10}-Fraktion dar; er darf seit dem 31. Dezember 2012 nicht überschritten werden.
	–	–	–	–	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 ng/m³ BaP liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $8{,}7 \cdot 10^{-5}$.
	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ BaP liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $9 \cdot 10^{-2}$.
2-Propylenglykol-1-ethylether (2PG1EE)	3 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	300	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
2-Propylenglykol-1-methylether (2PG1ME)	10 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	1000	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
2-Propylenglykol-1-tert-butylether (2PG1tBE)	3 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	300	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	
Quecksilber	0,35	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	als metallischer Dampf
	0,035	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	als metallischer Dampf
	1	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	als metallischer Dampf
Radon	300 Bq/m³	Jahresmittelwert	Referenzwert (I)	Mensch	EU [27]	Dieser Wert gilt für Bestandsbauten. Bei kurzen Aufenthaltsdauern kann ein Referenzwert von bis zu 1 000 Bq/m³ festgelegt werden.
	200 Bq/m²	Jahresmittelwert	Referenzwert (I)	Mensch	EU [27]	Dieser Wert gilt für Neubauten.
Schwefeldioxid	500	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Der Wert wird in drei aufeinanderfolgenden Stunden gemessen.
	350	1-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Der Wert darf nicht öfter als 24-mal im Kalenderjahr überschritten werden.
	125	24-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Der Wert darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden.
	350	1-h-Mittelwert	Immissionswert (A)	Mensch	TA Luft [18]	Der Wert darf nicht öfter als 24-mal im Kalenderjahr überschritten werden.
	125	24-h-Mittelwert	Immissionswert (A)	Mensch	TA Luft [18]	Dieser Wert darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden.
	50	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	Mensch	TA Luft [18]	
	500	10-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	
	20	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines [21]	
Schwefelwasserstoff	7	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Hierbei handelt es sich um den Leitwert für die Geruchsbelästigung.
	150	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Siloxane (D3 bis D6)	4 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen Summenrichtwert.
	400	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte [7]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen Summenrichtwert.

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Stickstoff-dioxid	400	1-h-Mittelwert	Alarm-schwelle (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Der Wert wird in drei aufeinander-folgenden Stunden gemessen.
	200	1-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	Dieser Wert darf nicht öfter als 18-mal im Jahr überschritten werden.
	40	Jahres-mittelwert	Grenzwert (A)	Mensch	2008/50/EG [8] 39. BImSchV [15]	
	200	1-h-Mittelwert	Immissions-wert (A)	Mensch	TA Luft [18]	Dieser Wert darf 18-mal im Jahr über-schritten werden.
	40	Jahres-mittelwert	Immissions-wert (A)	Mensch	TA Luft [18]	
	50	24-h-Mittelwert	Maximale Immissions-Konzentra-tion (A)	Mensch	VDI 2310 Blatt 12 [28]	Dieser Wert gilt für Wohngebiete.
	20	Jahres-mittelwert	Maximale Immissions-Konzentra-tion (A)	Mensch	VDI 2310 Blatt 12 [29]	Dieser Wert gilt für Wohngebiete.
	350	½-h-Mittelwert	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	60	Wochen-mittelwert	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	200	1-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23] WHO Air Quality Guidelines [21]	
	40	Jahres-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23] WHO Air Quality Guidelines [21]	
Styrol	300	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	30	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	70	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Hierbei handelt es sich um den Leit-wert für die Geruchsbelästigung.
	260	Wochen-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Terpene, bicyclische	2 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Als Leitsubstanz dient α-Pinen.
	200	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Als Leitsubstanz dient α-Pinen.
Terpene, mono-cyclische Monoterpene	10 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Als Leitsubstanz dient d-Limonen.
	1 000	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Als Leitsubstanz dient d-Limonen.

Gefahrstoff	Beurteilungs-wert [µg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes a)	Schutzobjekt	Herkunft	Bemerkungen
Tetrachlor-ethen	10	Jahres-mittelwert	Immissions-wert (A)	Mensch	TA Luft [18]	
	250	Jahres-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23] WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
	8 000	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Hierbei handelt es sich um den Leit-wert für die Geruchsbelästigung.
Toluol	3 000	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	300	-	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
	1 000	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Hierbei handelt es sich um den Leit-wert für die Geruchsbelästigung.
	260	Wochen-mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Trichlorethen	–	–	–	–	WHO Guidelines for Indoor Air Quality [23] WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $4{,}3 \cdot 10^{-7}$.
Tris(2-chlor-ethyl)phos-phat (TCEP)	50	–	Richtwert II (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Obwohl die Ergebnisse tierexperi-menteller Studien auf ein krebserzeu-gendes Potenzial der Verbindung hinweisen und für krebserzeugende Stoffe das Basisschema zur Richtwert-ableitung keine Anwendung finden sollte, sieht die Kommission aufgrund des Fehlens eindeutiger Hinweise zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richtwerten für TCEP als vertretbar an.
	5	–	Richtwert I (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
TVOC	1 000 bis 3 000	dauerhaft	Richtwert (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	Die TVOC-Werte sind nicht nach dem Basisschema abgeleitet. Zur Verdeut-lichung der Unsicherheiten, die bei der Ableitung entstanden, wurden nicht einzelne Zahlenwerte, sondern Kon-zentrationsbereiche angegeben (s. a. Abschnitt 2.3.4).
	200 bis 300	langzeitiges Mittel	Zielwert (I)	Mensch	Ad-hoc-Arbeits-gruppe Innen-raumrichtwerte [7]	
Vanadium	1	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	Mensch	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	
Vinylchlorid	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-6}$.
Zigaretten-rauch	–	–	–	–	WHO Air Quality Guidelines for Europe [20]	Bei einer lebenslangen Exposition liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-3}$, wenn eine Per-son im Haushalt raucht.

2.3 Spezielle Beurteilungswerte und Indikatoren für Innenraumarbeitsplätze

2.3.1 Kohlendioxid

Die Kohlendioxidkonzentration in Innenräumen gilt als ein wesentlicher Indikator für ausreichende Luftqualität, wenn der Mensch selbst die Hauptemissionsquelle ist und andere Quellen von untergeordneter Bedeutung sind. Die CO_2-Konzentration ist in diesem Zusammenhang auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung. Als Beurteilungsmaßstab gilt allgemein, dass eine Konzentration von

0,1 Volumen-% CO_2 (1 000 ppm bzw. 1 800 mg/m^3)

(*Pettenkofer*zahl; siehe z. B. [29; 30]) nicht überschritten werden sollte. Im Jahr 2008 hat die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte aus Interventionsstudien folgende gesundheitlich-hygienisch begründeten Leitwerte für die Momentankonzentration von Kohlendioxid abgeleitet [31]:

- Kohlendioxidkonzentration unter 1 000 ppm: hygienisch unbedenklich
- Kohlendioxidkonzentration zwischen 1 000 und 2 000 ppm: hygienisch auffällig
- Kohlendioxidkonzentration über 2 000 ppm: hygienisch inakzeptabel

Demnach soll bei Überschreitung der Momentankonzentration von 1 000 ppm Kohlendioxid gelüftet werden. Bei Überschreitung eines Wertes von 2 000 ppm muss gelüftet werden. Reichen die Lüftungsmaßnahmen (ggf. Einführung eines Lüftungsplans) nicht aus, um den Leitwert von 2 000 ppm zu unterschreiten, so sind weitergehende organisatorische, lüftungstechnische oder bauliche Maßnahmen erforderlich. Hierzu zählen z. B. die Verringerung der Personenzahl im Raum oder der Einbau einer technisch geregelten Lüftung.

2.3.2 Ozon

In der Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa [8] wurde zum Schutz der menschlichen Gesundheit als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages für Ozon ein Wert von 120 $\mu g/m^3$ festgelegt. Dieser Wert darf an höchstens 25 Tagen im Jahr überschritten werden. Darüber hinaus gelten für den 1-Stunden-Wert eine Informationsschwelle von 180 $\mu g/m^3$, ab der die Bevölkerung unterrichtet werden muss, und eine Alarmschwelle von 240 $\mu g/m^3$.

2.3.3 Formaldehyd

Im Jahre 2004 hat eine Arbeitsgruppe der Internationalen Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) Formaldehyd in die Stufe 1 „carcinogenic to humans" eingestuft [32; 33]. Daraufhin schlug das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Frühjahr 2006 als „sichere Konzentration" (Safe Level) im Hinblick auf die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd beim Menschen eine Luftkonzentration von 0,1 ppm (0,12 mg/m^3) vor [34]. Dem schloss sich im Herbst 2006 die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte an [35].

Die WHO schlägt einen 30-Minuten-Durchschnittswert von 0,1 mg/m^3 vor, um die Mehrheit der Bevölkerung vor sensorischen Irritationen zu schützen [20]. Empfohlen wird bei langfristiger Exposition, eine Konzentration von 0,06 mg/m^3 nicht zu überschreiten [36].

2.3.4 Flüchtige organische Verbindungen

Summe flüchtiger organischer Verbindungen

Ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Innenraumluftqualität ist die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen im Siedebereich 50 bis 260 °C, die als TVOC (Total volatile organic compounds) bezeichnet werden. Der Siedebereich umfasst weitestgehend die Stoffe, die analytisch auf einer unpolaren Säule im Elutionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan detektierbar sind [37].

Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und TVOC-Konzentrationen sich nicht als alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung der Innenraumluftqualität eignen, lassen sich dennoch anhand der TVOC-Konzentrationen Beeinträchtigungen durch VOC in der Innenraumluft bewerten. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender TVOC-Konzentration zunimmt. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte empfiehlt, für die Beurteilung der TVOC-Konzentration das fünfstufige Konzept von *Seifert* aus dem Jahre 1999 heranzuziehen (siehe Tabelle 1) [38].

Tabelle 1:
Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen [38]

Stufe	Konzentration	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
1	≤ 0,3 mg/m^3	Hygienisch unbedenklich. I. d. R. keine Beschwerden.	Keine weiteren Maßnahmen.
2	> 0,3 bis 1 mg/m^3	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe oder Stoffgruppen vorliegen. In Einzelfällen Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach kleineren Renovierungsmaßnahmen oder Neumöblierungen in den letzten Wochen.	Ausreichend lüften, besonders nach Renovierungsarbeiten. VOC-Quellen ermitteln (z. B. Begehung des Raumes). Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen. Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen.
3	> 1 bis 3 mg/m^3	Hygienisch auffällig. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 12 Monate). Innerhalb von ca. 6 Monaten sollte die TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden. Fälle mit Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen).
4	> 3 bis 10 mg/m^3	Hygienisch bedenklich. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat). Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m^3 abgesenkt werden. Fälle mit Häufung von Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 3 mg/m^3, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.
5	> 10 mg/m^3	Hygienisch inakzeptabel. Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig. Bei Werten oberhalb von 25 mg/m^3 ist eine Raumnutzung zu unterlassen. Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m^3 abgesenkt werden. In der Regel Beschwerden und Geruchswahrnehmungen, z. B. nach Fehlanwendungen, Unfällen.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Wird durch Minimierungsmaßnahmen 10 mg/m^3 im betrachteten Zeitraum zwar unterschritten, eine Konzentration von 3 mg/m^3 allerdings weiterhin überschritten, gelten die Maßnahmeempfehlungen wie unter Stufe 4. Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 10 mg/m^3, so sollte die Raumnutzung unterbleiben, und es sind adäquate Sanierungsmaßnahmen zu veranlassen.

Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe

Für Stoffe, für die es bislang keine Richtwerte gibt, können statistisch abgeleitete Referenzwerte für Einzelstoffe zur Bewertung herangezogen werden. Entsprechend einer international anerkannten Konvention wird der 95-Perzentilwert eines hinreichend großen Datenkollektivs als Referenzwert bezeichnet. Dabei wird ohne toxikologische Bewertung angenommen, dass der in den untersuchten Räumen angetroffene und nicht zu Erkrankungen und Beschwerden Anlass gebende „Normalzustand" allgemein akzeptiert werden kann. Referenzwerte ermöglichen – im Gegensatz zu den Richtwerten – keine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung. Sind die Referenzwerte unterschritten, bedeutet das also nicht zwangsläufig, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Umgekehrt kann aus einer Überschreitung dieser Werte nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden [38]. Eine wesentliche Überschreitung des Wertes kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können.

Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Vergleichbarkeit der Referenzräume und des jeweils betrachteten Innenraums. Als ausschlaggebende Parameter der Vergleichbarkeit sind die Ausstattung und die Nutzung des Innenraums, das Messverfahren und die Messstrategie hervorzuheben.

Referenzwerte zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen (z. B. Büros)

Im Jahre 2004 wurden basierend auf Messdaten der Unfallversicherungsträger erstmals Referenzwerte zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen (Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte, IRW) veröffentlicht [39]. Diese Werte wurden im Jahr 2010 überprüft und anhand einer erneuten statistischen Auswertung aller bis September 2010 in der IFA Expositionsdatenbank MEGA dokumentierten Messdaten aktualisiert [40].

Für die statistische Auswertung wurden dabei nur Messdaten betrachtet, die stationär in Büroräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden und bei denen die Probenahmedauer den Vorgaben der Messverfahren [41; 42] entsprach.

Da in der Regel mehr als 700 Messwerte pro Verbindung ausgewertet wurden, ist eine statistische Absicherung gewährleistet. Entgegen der international geltenden Konvention ziehen die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung im Sinne der Prävention zur Ableitung von Referenzwerten die niedrigeren 90-Perzentile anstelle der 95-Perzentile heran. Generell wurden die Werte auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die 2011 abgeleiteten Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie gelten nur bei Anwendung des im Report „Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld" [43] beschriebenen Messprogramms „Innenraummessungen" einschließlich der zugehörigen Messstrategie.

Tabelle 2:
Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte der Unfallversicherungsträger

Verbindung	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert (mg/m³)
TVOC	1
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C_9 bis C_{14})	0,07
Alkane	
n-Heptan	0,02
n-Octan	0,01
n-Nonan	0,01
n-Decan	0,01
n-Undecan	0,02
n-Dodecan	0,01
n-Tridecan	0,01
n-Tetradecan	0,01
n-Pentadecan	0,01
Aromatische Verbindungen	
Toluol	0,04
Ethylbenzol	0,01
o-Xylol	0,01
m-Xylol	0,02
p-Xylol	0,01
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01
Styrol	0,01
Alkohole	
Butan-1-ol	0,04
2-Ethylhexan-1-ol	0,02
Ketone	
Butanon	0,01
Ester	
Ethylacetat	0,02
n-Butylacetat	0,02
Ether	
2-Butoxyethanol	0,01
2-Phenoxyethanol	0,01
Terpene	
α-Pinen	0,02
Limonen	0,03
3-Karen	0,01
Aldehyde	
Formaldehyd	0,06
Acetaldehyd	0,05
Hexanal	0,03
Siloxane	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,06

Referenzwerte zur Beurteilung von Klassenräumen

In den Jahren 2004 bis 2009 wurden im Rahmen eines Projektes die Konzentrationen von Aldehyden und VOC in unbelasteten Klassenräumen von Schulen in Nordrhein-Westfalen erhoben [44]. Insgesamt wurden 421 Räume in 119 Schulen untersucht. Das Messverfahren und die Analytik sind vergleichbar mit dem MGU Messprogramm „Innenraummessungen“. Aus den ermittelten Messdaten wurden in Analogie zum Verfahren der Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte Klassenraum-Referenzwerte abgeleitet [45]. Diese sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3:
Klassenraum-Referenzwerte der Unfallversicherungsträger [45]

Verbindung	Klassenraum-Referenzwert (mg/m³)
TVOC	0,68
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C_9 bis C_{14})	0,03
Alkane	
n-Heptan	0,01
n-Undecan	0,01
n-Dodecan	0,01
n-Tridecan	0,01
Aromatische Verbindungen	
Toluol	0,03
Ethylbenzol	0,01
Xylol (alle Isomere)	0,02
m-Xylol	0,01
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01
Styrol	0,01
Phenol	0,01
Alkohole	
Butan-1-ol	0,03
2-Ethylhexan-1-ol	0,02
Ketone	
Butanon	0,01
Ester	
Ethylacetat	0,01
n-Butylacetat	0,01
Ether	
2-Butoxyethanol	0,02
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	0,03
2-Phenoxyethanol	0,02
Terpene	
α-Pinen	0,02
Limonen	0,02
3-Karen	0,01
Aldehyde	
Formaldehyd	0,06
Acetaldehyd	0,05
Hexanal	0,02
Siloxane	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,02

Einzelstoffbewertung basierend auf anderen Messverfahren

Pionierarbeit zur Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe hat das ehemalige Bundesgesundheitsamt mit seinem ersten Umweltsurvey aus den Jahren 1985/86 geleistet [46]. Mittlerweile wurde mit dem Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06 bereits der 4. Umweltsurvey vom Umweltbundesamt durchgeführt. Im Jahre 2010 wurden, basierend auf dieser Erhebung Ergebnisse zu flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft in Haushalten mit Kindern in Deutschland veröffentlicht [47]. Dazu wurden die mittleren Konzentrationen von chemischen Schadstoffen im Wohnumfeld von 555 Kindern mithilfe von Passivsammlern über einen Zeitraum von einer Woche ermittelt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4:
Flüchtige organische Verbindungen in mg/m^3 in der Innenraumluft in 555 Haushalten mit 3- bis 14-jährigen Kindern in Deutschland (Bestimmungsgrenze: 0,001 mg/m^3) [47]

Verbindung	n < BG	Konzentrationen (mg/m^3)	
		90-%-Wert	95-%-Wert
TVOC		0,8	1,1
Alkane			
n-Heptan	204	0,0127	0,0228
n-Octan	257	0,0045	0,0103
n-Nonan	293	0,0052	0,0121
n-Decan	222	0,0082	0,0149
n-Undecan	220	0,0098	0,0148
n-Dodecan	255	0,0048	0,0079
n-Tridecan	323	0,0027	0,0042
n-Tetradecan	86	0,0041	0,0054
n-Pentadecan	204	0,0027	0,0037
n-Hexadecan	298	0,0019	0,0023
n-Heptadecan	427	0,0014	0,002
n-Octadecan	516	<0,0010	0,002
Cyclohexan	152	0,0156	0,0391
Methylcyclohexan	266	0,0104	0,0265
Σ 14 Alkane		**0,0972**	**0,158**
Aromatische Verbindungen			
Benzol	137	0,0057	0,0077
Toluol	0	0,0472	0,0576
Ethylbenzol	179	0,0046	0,0068
m-,p-Xylol	52	0,0111	0,016
o-Xylol	241	0,0041	0,0055
m-, o-, p-Xylol		0,015	0,0212
Isopropylbenzol	516	<0,001	0,0013
n-Propybenzol	454	0,0017	0,0026
Iso- und n-Propylbenzol		0,0014	0,0026
2-Ethyltoluol	475	0,0016	0,0023
3-Ethyltoluol	341	0,0033	0,0055
4-Ethyltoluol	475	0,0014	0,0026
3- und 4-Ethytoluol		0,0051	0,0083
1,2,3-Trimethylbenzol	446	0,0019	0,0029
1,2,4-Trimethylbenzol	177	0,0058	0,0103
1,3,5-Trimethylbenzol	449	0,00017	0,0029
Styrol	329	0,0028	0,0048
Naphthalin	517	<0,001	0,0012
4-Phenylcyclohexen	555	–	–
Σ 16 aromatische Verbindungen		**0,0887**	**0,123**

Verbindung	n < BG	Konzentrationen (mg/m^3)	
		90-%-Wert	95-%-Wert
Halogenhaltige Verbindungen			
1,1,1-Trichlorethan	528	< 0,001	<0,001
Trichlorethen	534	< 0,001	<0,001
Perchlorethen	517	< 0,001	0,0014
1,4-Dichlorbenzol	548	< 0,001	<0,001
Σ 4 halogenhaltige Verbindungen		**0,0036**	**0,0054**
Sauerstoffhaltige Verbindungen			
Ethylacetat	12	0,047	0,0708
Butylacetat	64	0,018	0,0307
1-Methoxy-2-propanolacetat	426	0,002	0,0036
Methylethylketon	519	< 0,0075	0,0092
Methylisobutylketon	407	0,0019	0,0026
1-Butanol	10	0,0129	0,0176
Isobutanol	505	< 0,0035	0,0049
2-Methoxyethanol	528	< 0,001	0,0012
2-Ethoxyethanol	502	< 0,001	0,0015
2-Butoxyethanol	215	0,0058	0,0103
2-Butoxyethoxy-ethanol	374	0,0027	0,006
2-Phenoxyethanol	357	0,0028	0,0037
1-Methoxy-2-propanol	198	0,0053	0,0084
1-Butoxy-2-propanol	295	0,0076	0,0128
1-Phenoxy-2-propanol	544	< 0,001	<0,001
2-Ethyl-1-hexanol	86	0,0075	0,0114
Dipropylenglykol-monobutylether	457	0,0016	0,0032
Texanol	407	0,002	0,0028
TXIB	227	0,004	0,0055
Σ 19 sauerstoffhaltige Verbindungen		**0,130**	**0,194**
Terpene			
α-Pinen	8	0,047	0,0676
β-Pinen	240	0,0042	0,0083
Limonen	38	0,0714	0,103
Δ^3-Caren	141	0,0146	0,0227
Longifolen	465	0,0013	0,0018
Σ 5 Terpene		**0,123**	**0,184**
Aldehyde			
Formaldehyd	0	0,041	0,0477
Acetaldehyd	8	0,0372	0,0503
Propanal	0	0,0048	0,0061
Butanal	4	0,0059	0,0081
Pentanal	7	0,0072	0,0106
Hexanal	0	0,0212	0,030
Heptanal	68	0,0024	0,003
Octanal	3	0,0032	0,0036
Nonanal	0	0,0125	0,0147
Decanal	17	0,0048	0,0055
Undecanal	327	0,0023	0,0031
Furfural	21	0,002	0,0028
Benzaldehyd	13	0,0056	0,0066
Isovaleraldehyd	384	0,0031	0,0039
Methylglyoxal	295	0,0141	0,0178
Σ 11 Aldehyde (Formaldehyd bis Undecanal)		**0,122**	**0,155**
Σ 15 Aldehyde (Formaldehyd bis Methylglyoxal)		**0,135**	**0,170**

Darüber hinaus gibt es weitere Veröffentlichungen von diversen Messinstituten, die aus eigenen Daten (u. a. aus Schadensfällen) Werte zur Beurteilung der Innenraumluft abgeleitet haben [48; 49]. Diese Untersuchungen wurden in verschiedenartigen Innenräumen einschließlich Wohnräumen vorgenommen und liegen z. T. Jahrzehnte zurück. Unabhängig von der Frage der Übertragbarkeit dieser Daten auf Büroarbeitsplätze ist zu beachten, dass sich während dieser Zeit erhebliche Änderungen in der Ausstattung und Nutzung von Innenräumen ergeben haben, die auch Auswirkungen auf die Luftbelastung haben; man denke nur an neue Materialien zur Innenausstattung oder an veränderte Reinigungsmethoden. Erschwerend kommt hinzu, dass auch die bei diesen Studien eingesetzten Messverfahren und Messstrategien nicht einheitlich sind. Die Vergleichbarkeit als wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist damit für diese Werte nur eingeschränkt erfüllt. Sie können deshalb nur unter Vorbehalt für Innenraumarbeitsplätze herangezogen werden.

2.3.5 Stäube

Zur Beurteilung möglicher Gesundheitsgefahren durch Staubbelastungen werden von der Partikelgröße abhängige Staubfraktionen herangezogen. Die im Arbeitsschutz üblicherweise verwendeten Fraktionen „einatembarer Staub“ (E-Fraktion) und „lungengängiger Staub“ (Alveolarfraktion, A-Fraktion) stimmen nicht exakt überein mit den im Bereich des Umweltschutzes gebräuchlichen Fraktionen PM_{10} (particulate matter) und $PM_{2,5}$. Darunter versteht man in erster Näherung die Summe aller Schwebstaubpartikeln mit einem Durchmesser von bis zu 10 µm und bis zu 2,5 µm [50].

Für Innenraumarbeitsplätze wird empfohlen, zur Beurteilung von Staubbelastungen die im Umweltschutz definierten Fraktionen $PM_{2,5}$ und PM_{10} heranzuziehen, da die Konzentrationen hauptsächlich durch die Außenluft bedingt sind und hierfür entsprechende Beurteilungswerte zur Verfügung stehen. So schlägt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte vor, bei Abwesenheit von Verbrennungsprozessen (z. B. Tabakrauch) als Beurteilungswert für Feinstaub der Fraktion $PM_{2,5}$ den von der Weltgesundheitsorganisation als Tageswert festgelegten Wert von 25 µg/m³ heranzuziehen [51].

Für die Fraktion PM_{10} schlägt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte dagegen keinen Bewertungsmaßstab vor. Sie begründet dies damit, dass für diese Fraktion die Konzentrationen in Innenräumen deutlich über denjenigen in der Außenluft liegen. Dies bedeutet, dass die Hauptquellen für diese Partikelfraktion im Innenraum zu suchen sind. Da die Zusammensetzung dieser Fraktion nicht näher bekannt ist, kann keine abschließende Bewertung durchgeführt werden. [51] Generell sollte darauf geachtet werden, dass die Staubkonzentration bezogen auf die PM_{10}-Fraktion nicht über dem EU-Staubgrenzwert [52] für die Luft der Troposphäre von 50 µg/m³ liegt.

2.4 Literatur

[1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August1996. BGBl. I (1996) S. 1246; zul. geänd. BGBl. I (2009), S. 160

[2] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179; zul. geänd. BGBl. I (2010) S. 960

[3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010) Nr. 59, S. 1643; zul. geänd. BGBl. I (2011) S. 1622

[4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41; zul. geänd. GMBl. (2012), S. 715

[5] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBl. (2012) Nr. 6, S. 92

[6] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002. BGBl. I Nr. 71, S. 3830; zul. geänd. BGBl. I (2012) S. 1421

[7] Richtwerte für die Innenraumluft. http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/irk.htm

[8] Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa ABl. EG Nr. L 152 vom 11.06.2008, S. 1

[9] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. ABl. EG Nr. L 296 vom 21. November 1996, S. 55

[10] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. ABl. EG Nr. L 163 vom 29. Juni 1999, S. 41; zul. geänd. ABl. EG Nr. L 278 vom 23. Oktober 2001, S. 35

[11] Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. ABl. EG Nr. L 313 vom 13. Dezember 2000, S. 12; ber. ABl. EG Nr. L 111 vom 20. April 2001, S. 31

[12] Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft. ABl. EG Nr. L 67 vom 9. März 2002, S. 14

[13] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft. ABl. EG Nr. L 23 vom 26. Januar 2005, S. 3; geänd. durch VO (EG) Nr. 219/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. März 2009. ABl. EG Nr. L 87 vom 31. März 2009, S. 109

[14] Achtes Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 31. Juli 2010. BGBl. I (2010) Nr. 40, S. 1059

[15] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetztes (39. BImSchV) – Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010. BGBl. I (2010) Nr. 40, S. 1065

[16] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) – Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft vom 11. September 2002. BGBl. I Nr. 66 vom 17. September 2002, S. 3626; zul. geänd. BGBl. I vom 27. Februar 2007, S. 241

[17] Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (33. BImSchV) Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen vom 13. Juli 2004. BGBl. I Nr. 36 vom 20. Juli 2004, S. 1612

[18] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBl. Nr. 25-29 vom 30. Juli 2002, S. 511

[19] Air quality guidelines for Europe. Hrsg.: World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen 1987 (WHO Regional Publications, European Series, No. 23)

[20] WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed. Hrsg.: World Health Organization Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No. 91)

[21] WHO AIR Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf 2006

[22] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Hrsg.: WHO, Kopenhagen 2009

[23] WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf 2010

[24] VDI 2310 Blatt 1: Maximale Immissions-Werte: Zielsetzung und Bedeutung der Richtlinienreihe VDI 2310 (12.10). Beuth, Berlin 2010

[25] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. 36 (1993) Nr. 3, S. 117-118

[26] VDI 2310 Blatt 15: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen - Maximale Immissions-Konzentrationen für Ozon. VDI, Düsseldorf 2001

[27] Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung vom 30. Mai 2012. COM(2012) 242 final. 2011/0254 (NLE), Brüssel 2012 http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2012/com2012_0242de01.pdf

[28] VDI 2310 Blatt 12: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid. Beuth, Berlin 2004

[29] *Witthauer, J., et al.:* Raumluftqualität. C.F. Müller, Karlsruhe 1993

[30] Ventilation for acceptable indoor air quality. Hrsg.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (1989) Vol. 62

[31] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz. 51 (2008) Nr. 11, S. 1358-1369

[32] IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol, Volume 88 (2006) http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php

[33] *Cogliano, V.J.; Grosse, Y.; Baan, R.A., et al.:* Meeting Report: summary of IARC Monographs on Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-Propanol. Environm. Health Perspect. 113 (2005) Nr. 9, S. 1205-1208

[34] *Schulte, A.; Bernauer, U., et al.:* Assessment of the carcinogenicity of formaldehyde. BfR Wissenschaft (02/2006). Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin 2006

[35] Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 49 (2006) S. 1169

[36] *Agar, J.P.; Gording, D.A.; Hartley, M.R.; Hope, L.A.E.; Michell, R.M.; Powell, C.B.:* Air Quality Monitoring Report – Richmond Primary School Environment Protection Authority, Adelaide, Juli 2001, S. 10

[37] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007) Nr. 7, S. 990-1005

[38] Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007) Nr. 7, S. 990-1005

[39] *Schlechter, N., et al:* Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 64 (2004) Nr. 3, S. 95-99

[40] *von Hahn, N., et al:* Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 7/8, S. 314-322

[41] *Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.:* VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen) (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin, Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8936

[42] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.:* Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 39. Lfg. XI/07. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045

[43] Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften, der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – IFA. In Vorbereitung

[44] *Neumann, H.D.:* Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. der Luft 71 (2011) Nr. 11/12

[45] *Neumann, H.D.; Buxtrup, M.; von Hahn, N.; Koppisch, D.; Breuer, D.; Hahn, J.-U.:* Vorschlag zur Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 72 (2012) Nr. 7/8, S. 291

[46] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. 36 (1993) Nr. 3, S. 117-118

[47] Umweltbundsamt: Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06 – Innenraumluft – Flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft in Haushalten mit Kindern in Deutschland, Berlin 2010

[48] *Scholz, H.:* Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung. In: Gebäudestandard 2000 – Energie und Raumluftqualität. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Springe-Eldagsen 1998

[49] *Schleibinger, H., et al:* Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag. Umweltmed. Forsch. Prax. 7 (2002) Nr. 3, S. 139-147

[50] *Mattenklott, M.; Höfert, N.:* Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. der Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 127-129

[51] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 51 (2008) Nr. 7, S. 1370-1378

[52] Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. EG Nr. L 152 vom 11. Juni 2008, S. 1

Biologische Einwirkungen

1 Einführung und Erläuterungen

In der Umwelt erfüllen viele Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Pilze) nützliche Funktionen. Einige dieser Mikroorganismen können Erkrankungen hervorrufen. Davon können auch Arbeitnehmer betroffen sein.

Die Biostoffverordnung (BioStoffV) zum Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Biostoffe bei der Arbeit stellt die nationale Umsetzung der Richtlinie 2000/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 zu dieser Thematik dar [1, 2]. Die BiostoffV trat am 1. April 1999 in Kraft und wurde zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 geändert (BGBl. I, S. 2768).

Im August 2012 wurde ein Referentenentwurf zur Neufassung der BiostoffV vorgelegt, der derzeit diskutiert wird und voraussichtlich Ende 2013 in Kraft tritt.

Gemäß dieser Verordnung ist der Arbeitgeber verpflichtet, für jede berufliche Tätigkeit, bei der eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien erfolgen kann, eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, um die Risiken für die Arbeitnehmer abzuschätzen und ggf. Schutzmaßnahmen festlegen zu können.

Nach § 3 der BioStoffV werden Biostoffe entsprechend dem von ihnen ausgehenden Infektionsrisiko in vier Risikogruppen unterteilt:

1. Biostoffe der Gruppe 1 sind solche, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit hervorrufen.

2. Biostoffe der Gruppe 2 sind solche, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Arbeitnehmer darstellen können; eine Verbreitung des Agens in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.

3. Biostoffe der Gruppe 3 sind solche, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Arbeitnehmer darstellen können, die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen, doch ist normalerweise eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich.

4. Biostoffe der Gruppe 4 sind solche, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Arbeitnehmer darstellen; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung ist unter Umständen groß; normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich.

Für die Einstufung biologischer Arbeitsstoffe in die Risikogruppen 2 bis 4 gilt nach § 3 der BioStoffV der Anhang III der Richtlinie 2000/54/EG [1]. Wird der Anhang im Verfahren nach Artikel 19 dieser Richtlinie an den technischen Fortschritt angepasst, so kann die geänderte Fassung bereits ab ihrem Inkrafttreten angewendet werden. In der Technischen Regel für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 450 sind die in Deutschland angewendeten Einstufungskriterien für Biostoffe zusammengefasst [3]. Für die Zuordnung von biologischen Arbeitsstoffen zu Risikogruppen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung stehen weiterhin folgende Quellen zur Verfügung:

1. die Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe zur Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460), zur Einstufung von Viren in Risikogruppen (TRBA 462), zur Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (TRBA 464), zur Einstufung von Bakterien (Bacteria) und Archaebakterien (Archaea) in Risikogruppen (TRBA 466) sowie zur Einstufung von Zellkulturen in Risikogruppen und Zuordnung der Tätigkeiten mit diesen Zellkulturen zu einer Schutzstufe [4 bis 8]

2. die Merkblätter „Sichere Biotechnologie" der BG Chemie [9]

3. die Einstufungsliste der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS) [10]

Grenzwerte für biologische Agenzien in der Luft am Arbeitsplatz liegen zurzeit weder auf europäischer noch auf nationaler Ebene vor. Für Rohbaumwollstaub und Holzstaub, die ebenfalls biologischen Ursprungs sind, existieren dagegen über das Technische Regelwerk für Gefahrstoffe (TRGS 900 — Arbeitsplatzgrenzwerte) bzw. die Richtlinie 2004/37/EG Grenzwerte am Arbeitsplatz. Daneben liegen toxikologisch begründete Arbeitsplatzgrenzwerte für einige chemische Verbindungen vor, die auch von Bakterien und Pilzen in größeren Mengen freigesetzt werden können wie z. B. Kohlendioxid (CO_2) oder Acrolein.

Weiterhin werden für die Bereiche Produktschutz und Hygienestandard Reinheitsklassen für Räume auf der Grundlage des Mikroorganismengehaltes in der Luft definiert. Sie sind beispielsweise im Krankenhaus, bei der Lebensmittel- und Pharmazeutikaherstellung oder in der mikroelektronischen Fertigung von Bedeutung.

Dem Schutz des Verbrauchers dienen Grenzwerte für den Mikroorganismengehalt von Trinkwasser, Badewasser und Lebensmitteln. Allen diesen Grenzwerten ist gemeinsam, dass sie ursächlich nicht für den Arbeitsschutz konzipiert wurden und höchstens indirekt für diesen Bereich bedeutsam sind. Für die Beurteilung mikrobieller Arbeitsplatzbelastungen lassen sich folgende Parameter heranziehen:

a) anzüchtbare und auszählbare Gesamtkoloniezahl der Bioaerosole (z. B. Schimmelpilze allgemein, ohne Artendifferenzierung)

b) spezifische anzüchtbare und auszählbare Mikroorganismen im Sinne von Leitkeimen wie z. B. *Aspergillus fumigatus* in Kompostieranlagen

c) spezifische infektiöse Mikroorganismen (z. B. *Legionella pneumophila, Mycobacterium tuberculosis*)

d) Zellwandbestandteile und Bestandteile von biologischen Partikeln (z. B. Endotoxine, β1 → 3-Glucane u. a. Allergene)

Insbesondere an Arbeitsplätzen, an denen gemäß § 2 der BioStoffV sogenannte nicht gezielte Tätigkeiten mit Biostoffen durchgeführt werden, kann eine Vielzahl von biologischen Agenzien bzw. Bioaerosolen mit möglicher allergisierender oder toxischer Wirkung vorkommen, z. B. Abfallwirtschaft, Landwirtschaft. Zur Abschätzung der Größenordnung einer Belastung erscheint es zunächst sinnvoll, Summen- oder Gruppenparameter wie z. B. die Koloniezahl der anzüchtbaren Bakterien bzw. Schimmelpilze oder die Endotoxinkonzentration in der Arbeitsplatzatmosphäre zu bestimmen. Darüber hinaus kann auch das Vorkommen von Leitorganismen zur Beurteilung herangezogen werden, sofern solche für bestimmte Arbeitsbereiche bekannt sind.

Bei speziellen Fragestellungen wie z. B. der Auslösung bestimmter Infektionskrankheiten oder dem Vorliegen von Allergien gegen bestimmte Schimmelpilzarten empfiehlt sich weiterhin die gezielte Untersuchung des Vorkommens einzelner Organismenarten oder die Bestimmung der Artenspektren der jeweils vorhandenen Mikroorganismen.

Im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie 2000/54/EG wurde vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) ein Ausschuss für Biostoffe gebildet (ABAS; www.baua.de/abas). Eine der Hauptaufgaben des Arbeitskreises (AK) Arbeitsplatzbewertung im ehemaligen Unterausschuss (UA) 1 Grundsatz- und Anwendungsfragen des ABAS war es, standardisierte Messverfahren für biologische Agenzien am Arbeitsplatz zu erarbeiten sowie Messstrategien für Biostoffe festzulegen. Ziel dieser Vorgehensweise war es, eine einheitliche Beurteilung von Arbeitsbereichen hinsichtlich der mikrobiologischen Belastung sicherzustellen. So gewonnene, vergleichbare Daten können beispielsweise zur Ableitung von Technischen Kontrollwerten (TKW) für bestimmte Arbeitsbereiche herangezogen werden.

Bisher wurden Messverfahren zur Bestimmung der Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz erarbeitet und in der IFA Arbeitsmappe veröffentlicht [11]. Um das Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz zu validieren, wurden unter der Federführung des IFA zwei Ringversuche mit realen Proben sowie mit in einem Staubkanal unter definierten Bedingungen beaufschlagten Probenträgern durchgeführt [12; 13]. Sowohl die grundlegende Messstrategie-Basisregel als auch das Messverfahren zur Schimmelpilzbestimmung wurden vom BMAS im Bundesarbeitsblatt als Technische Regel für Biostoffe (TRBA) veröffentlicht [14; 15]. Das Messverfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz wurde im März 2003 als TRBA zurückgezogen. Das in der IFA Arbeitsmappe unter der Kennzahl 9420 veröffentlichte Verfahren entspricht im Wortlaut jedoch der mittlerweile aufgehobenen TRBA 430.

Der Arbeitskreis Arbeitsplatzbewertung ist heute im UA 2, Schutzmaßnahmen des ABAS angesiedelt. Er berät das BMAS u. a. auch in Fragen zur Stellungnahme zu in anderen europäischen Ländern bestehenden Richtwerten für Bioaerosole wie dem Endotoxinrichtwert in den Niederlanden und zur Ableitung von Technischen Kontrollwerten.

2 Kontrollwertkonzept

Das Kontrollwertkonzept für Biostoffe wurde im AK Arbeitsplatzbewertung im ehemaligen UA 1 des ABAS erarbeitet und mit Beschluss des ABAS vom September 2000 in der TRBA 405 veröffentlicht [14]. Mit der Neufassung der BiostoffV wurde es im Jahr 2013 dort ebenfalls verankert (§§ 2, 6 und 16).

Nach §§ 4, 5 und 6 der BioStoffV ist der Arbeitgeber verpflichtet, bei Tätigkeiten mit Biostoffen anhand von Informationen zu Art, Ausmaß und Dauer der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber diesen Agenzien eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen [2]. Auf der Grundlage dieser Beurteilung soll anschließend die Zuordnung der Tätigkeiten zu einer bestimmten Schutzstufe bzw. die Festlegung von Schutzmaßnahmen erfolgen. Eine Verpflichtung zur Durchführung von Messungen biologischer Agenzien ist damit laut BioStoffV nicht verbunden. Lediglich in Einzelfällen – wie z. B. bei der Einführung neuer Arbeitsverfahren oder wenn eine mögliche Kontamination eines Arbeitsplatzes untersucht werden soll – kann es erforderlich sein, die mikrobiologische Belastung der Luft am Arbeitsplatz zu bestimmen.

2.1 Technischer Kontrollwert

Ein Technischer Kontrollwert (TKW) legt diejenige Konzentration biologischer Arbeitsstoffe in der Luft für einen Arbeitsbereich, ggf. auch für ein bestimmtes Verfahren oder einen bestimmten Anlagentyp, fest, die grundsätzlich nach dem Stand der Technik erreicht werden kann.

Solch ein Wert dient der Beurteilung von technischen Schutzmaßnahmen und wird vom ABAS bestimmt. Er kann als Summenwert oder bezogen auf Mikroorganismengruppen definiert werden. Ein TKW ist an die jeweils dafür festgelegte Messstrategie gebunden.

Für die Festlegung der Höhe eines TKW sind maßgebend:

- der jeweiligen Stand der technischen Maßnahmen; bei unterschiedlichen Verfahren können auch unterschiedliche TKW für die gleichen biologischen Parameter festgelegt werden
- die Berücksichtigung arbeitsmedizinischer, toxikologischer und epidemiologischer Erfahrungen

TKW liefern keine Aussagen zu Korrelationen zwischen Expositionen und damit verbundenen möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Beschäftigten. Da für die durch den

TKW erfassten biologischen Arbeitsstoffe in der Regel keine Wirkungsschwelle ermittelt werden kann und auch bei Einhaltung der TKW eine Beeinträchtigung der Gesundheit nicht auszuschließen ist, sind fortgesetzte Verbesserungen der Arbeitsverfahren und der technischen Schutzmaßnahmen notwendig. Es gilt das Minimierungsgebot nach § 6 Abs. 7 BioStoffV. TKW werden vom ABAS laufend an den Stand der technischen Entwicklung der analytischen Möglichkeiten sowie der Überprüfung nach dem Stand der Wirkungsforschung angepasst.

2.2 Messstrategie/Messverfahren

Für Biostoffe an Arbeitsplätzen gibt es verschiedene Quellen. Im Rahmen der Ermittlungen zu biologischen Agenzien können zahlreiche Informationen zur potenziellen Quelle, zur Art des emittierten Biostoffs sowie zu den daraus folgenden Charakteristika und zu den Umgebungsbedingungen anfallen (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit).

Grundsätzlich obliegt es dem Unternehmer, eine Gefährdungsbeurteilung nach den Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes durchzuführen. Hierbei soll z. B. die TRBA 400 – Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unterrichtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen – Hilfestellung leisten [16].

Aus einem nach dem optischen Eindruck nicht einwandfreien Befund an Arbeitsplätzen lässt sich nicht automatisch ein Messbedarf ableiten. Oftmals können die Beseitigung von Emissionsquellen für Biostoffe und das Ergreifen geeigneter Schutzmaßnahmen auch ohne Messung erfolgen. Andererseits bedeutet ein optisch einwandfreier Befund bei der Begehung nicht zwingend, dass keine biologischen Agenzien in höherer Zahl vorkommen können.

Besteht aus einem der im zweiten Abschnitt des Kapitels „Kontrollwertkonzept" genannten Gründe ein Messbedarf, so ist grundsätzlich auf die für die Messung von Mikroorganismen in der Luft ausgelegte Messstrategie TRBA 405 – Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luft-getragene Biologische Arbeitsstoffe – zurückzugreifen [16]. Bei der Messplanung sind dabei Messparameter, Messverfahren, Messorte, Messdauer sowie die Anzahl der zu beaufschlagenden Probenträger festzulegen. Bei der Messung der mikrobiologischen Belastung in der Luft in Arbeitsbereichen sollten die in der IFA Arbeitsmappe veröffentlichten Messverfahren angewendet werden [11]. Erkenntnisse und Ergebnisse aus der Validierung dieser Messverfahren und damit verbundene aktuelle Verfahrensanpassungen sollten dabei berücksichtigt werden [z. B. 12; 13; 17]. In den entsprechenden Texten werden dem Benutzer auch Hinweise zur Durchführung der Messung, z. B. hinsichtlich der maximalen Messdauer, gegeben.

Zusätzlich zu den Luftmessungen können bei mikrobiologischen Ermittlungen an Arbeitsplätzen weitere Untersuchungen sinnvoll sein wie z. B. die Bestimmung des Keimgehaltes von Flüssigkeiten, Materialproben oder Oberflächen.

Im Einzelfall können zur Beurteilung möglicher Belastungen von Arbeitsplätzen mit Biostoffen neben einer Messung mit mikrobiologischen Verfahren ergänzend auch andere aussagekräftige Methoden wie z. B. Staubmessungen zum Einsatz kommen.

2.3 Schwankungsbreite von Messergebnissen

Der Gehalt an Biostoffen in der Luft in Arbeitsbereichen kann, je nach Arbeitsplatz oder Anlagentyp, erheblich schwanken. Solche Schwankungen können z. B. durch die klimatischen, lüftungs- und verarbeitungstechnischen Verhältnisse oder durch das verarbeitete Material, aber auch durch die Zusammensetzung der jeweils vorhandenen Mikroorganismenpopulation selbst, bedingt sein. An ein und demselben Arbeitsplatz können deshalb an verschiedenen Messtagen unterschiedliche Konzentrationen von Biostoffen festgestellt werden. In der Literatur sind in identischen Arbeitsbereichen geometrische Standardabweichungen der gemessenen Konzentrationen im Bereich von 1,6 bis 4 dokumentiert worden [18]. Auch zwischen den Ergebnissen aus stationären Messungen, die auf den gesamten Arbeitsbereich bezogen sind, und solchen aus personengetragenen Messungen können grundsätzlich Unterschiede bestehen [19].

Durch die Messgröße selbst (lebendes Material, Mischpopulationen oder Stoffgruppen, Abhängigkeit von Umweltfaktoren wie Substratangebot und Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Temperatur, Feuchtigkeit) sind Variabilitäten bei der Bestimmung von Biostoffen vorgegeben. Aus diesem Grund wurde versucht, die Messverfahren weitestgehend zu standardisieren, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Mithilfe von Ringversuchen wurden die Leistungskenndaten solcher standardisierter, mikrobiologischer Messverfahren ermittelt bzw. überprüft [12, 13, 18, 20].

2.4 Glossar

Biostoffe

Mikroorganismen, Zellkulturen, Endoparasiten sowie stationäre Ektoparasiten einschließlich ihrer gentechnisch veränderten Formen, mit Transmissibler Spongiformer Enzephalopathie (TSE) assoziierte Agenzien und künstlich geschaffene oder veränderte biologische Einheiten, die den Menschen durch Infektionen, übertragbare Krankheiten, Toxinbildung oder sensibilisierende Wirkungen gefährden können.

Biologische luftgetragene Kontaminanten

- Bioaerosole
- flüchtige von Organismen freigesetzte Verbindungen, z. B. Aceton, Aldehyde, Alkohole, Amine, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Schwefeldioxid
- biologische Produkte, z. B. Enzyme, Mykotoxine

Bioaerosole

Luftgetragene biologische Partikel, die aus lebenden Organismen zusammengesetzt sind oder von diesen produziert wurden

- Mikroorganismen, anzüchtbare und nicht anzüchtbare (Bakterien, Pilze, Algen, Protozoen einschließlich Viren)
- Pollen
- Bestandteile von lebenden Organismen, z. B. Zellwandkomponenten oder Zellinhaltsstoffe, Federn, Speichel, Kot

Hintergrundkonzentration in der Außenluft

Die am Tage der betrieblichen Messung vorliegende Konzentration an Biostoffen (Schimmelpilze, Bakterien, Endotoxine u.a.) in der Außenluft (Angabe pro m³ Luft), die auf dem Betriebsgelände oder in unmittelbarer Nachbarschaft gemessen wurde.

Die Messung der Hintergrundkonzentration in der Außenluft dient als Referenz zur Beurteilung der am Probenahmetag ermittelten Konzentration von Biostoffen in der Arbeitsplatzatmosphäre.

Die Höhe des Messwertes in der Außenluft wird durch

- natürliche Quellen (z. B. Vegetation) oder
- anthropogen beeinflusste Quellen (z. B. keimemittierende Tätigkeiten wie Getreideernte)

in der näheren Umgebung des beprobten Betriebes beeinflusst. Sie kann jahreszeitlich variieren [21].

Die Außenluftmessung soll stets auf der dem Wind zugewandten Seite des untersuchten Betriebes erfolgen, um eine Beeinflussung des Wertes durch Keimemissionen aus dem Betrieb selbst weitgehend ausschließen zu können.

Messung, personenbezogen

Personenbezogene Messungen zur Expositionsermittlung werden im Atembereich der Beschäftigten personengetragen oder ortsfest (stationär) durchgeführt. Zur Beurteilung von Tätigkeiten, während deren Ausführung ein Arbeitsplatzwechsel stattfindet, sollten vorrangig personengetragene Messungen durchgeführt werden. Ist eine personengetragene Messung aus technischen Gründen nicht möglich oder wegen eines räumlich eng begrenzten Einsatzes der Beschäftigten oder der Gleichförmigkeit der Konzentrationsverhältnisse im Arbeitsbereich nicht erforderlich, können auch ortsfeste Messungen zur Expositionsermittlung erfolgen. Dabei ist auf eine Entnahme der Luftprobe in Atemhöhe (z. B. 150 bis 165 cm bei stehender, 110 cm bei sitzender Tätigkeit) und in unmittelbarer Nähe der Beschäftigten zu achten.

Messung, ortsbezogen

Ortsbezogene Messungen erfolgen ohne Personenbezug und werden i. d. R. zur Beurteilung der Emission aus technischen Anlagen/Maschinen durchgeführt, z. B. am Luftauslass einer raumlufttechnischen Anlage.

MVOCs

Microbial volatile organic compounds = englisch für leicht flüchtige organische Verbindungen mikrobiellen Ursprungs

3 Grenzwerte

Arbeitsmedizinisch-epidemiologisch begründete Grenzwerte für Bioaerosole in der Luft am Arbeitsplatz liegen derzeit nicht vor.

3.1 Technischer Kontrollwert für biologische und andere Abfallbehandlungsanlagen

Das Prinzip des technischen Kontrollwertes wurde bisher nur einmal, im Bereich der Abfallwirtschaft, umgesetzt: Auf der Grundlage von Untersuchungen zur mikrobiellen Luftbelastung in 32 Wertstoffsortieranlagen [22] wurde im Auftrag des BMAS in der Vergangenheit ein Schutzkonzept für Abfallsortieranlagen erarbeitet, das im Juni 1999 als TRBA im Bundesarbeitsblatt veröffentlicht wurde [23]. Im Zusammenhang mit der Veröffentlichung der TRBA „Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen“ hat der AK Abfallwirtschaft im UA 2 Schutzmaßnahmen des ABAS erstmals einen Technischen Kontrollwert formuliert [24]. Dieser TKW wurde auf $5 \cdot 10^4$ KBE/m³ Atemluft als Summenwert für mesophile Schimmelpilze festgelegt. Er galt ausschließlich für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen in Sortierkabinen, Kabinen und Steuerständen und war bis August 2003 zur Erprobung ausgeschrieben. In einer Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurde die Einhaltung dieses TKW überprüft. Dazu wurden in der warmen Jahreszeit 2004 die Gehalte an mesophilen Schimmelpilzen an Arbeitsplätzen in 26 ausgewählten biologischen Abfallbehandlungsanlagen untersucht. Die Studie zeigte, dass bei konsequenter Umsetzung des in der TRBA 211 beschriebenen Konzeptes sich ergänzender Schutzmaßnahmen der TKW an den Arbeitsplätzen des Anwendungsbereiches (Sortierkabinen, Leitwarten, Radladerkabinen) in der Regel eingehalten wurde [25]. Im Juli 2007 wurde die TRBA 211 „Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen“ daraufhin aufgehoben [24]. Die TRBA 210 „Abfallsortieranlagen: Schutzmaßnahmen“ [23] und der Beschluss 607 „Anforderungen an Sortieranalysen“ [26] wurden inhaltlich ebenfalls in die neue TRBA 214 „Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft“ integriert [27].

Der dort festgelegte TKW von $5 \cdot 10^4$ KBE pro m³ Atemluft als Summenparameter für mesophile Schimmelpilze gilt für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen an Arbeitsplätzen in Sortierkabinen, Kabinen, Führerhäusern und Steuerständen in folgenden Anlagentypen:

- Sortieranlagen, z. B. für Verpackungsabfälle, Siedlungsabfälle, Altpapier, Glas-, Bauschutt- und Baumischabfälle
- Kompostierungsanlagen (Anlagen zur Erzeugung von Kompost aus organischen Abfällen)
- Abfallvergärende Biogasanlagen
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen (MBA)
- Mechanisch-physikalische Abfallbehandlungsanlagen/Stabilisierungsanlagen (MPS)
- Abfallumladestationen

3.2 Endotoxine

Zur Beurteilung von Endotoxinkonzentrationen wurde zunächst ein Richtwert von 50 EU (engl. Endotoxin units) pro m³ Luft als 8-Stunden-Mittelwert vorgeschlagen, der mithilfe eines standardisierten Messverfahrens ermittelt wurde [28; 29]. Zahlreiche Messungen in der Praxis zeigten, dass die Endotoxinkonzentrationen in vielen Arbeitsbereichen wesentlich höher liegen, ohne dass entsprechende Erkrankungen auftreten. Es wurde vielfach diskutiert, ob dieses Ergebnis möglicherweise auch durch große Schwankungsbreiten bei der Probenahme und der Durchführung der Analysenmethode bedingt sein könnte. Im AK „Arbeitsplatzbewertung" im ehemaligen UA 1 des ABAS wurde deshalb unter Einbindung nationaler Experten eine Stellungnahme zur Einschätzung im Hinblick auf die praktische Umsetzbarkeit dieses Richtwertes erarbeitet [30]. Die Auswertung von 25 wissenschaftlichen Studien, in denen an unterschiedlichen Arbeitsplätzen Endotoxinaktivitäten bestimmt wurden, zeigte eine sehr große Variationsbreite dieser Ergebnisse. In den meisten Fällen wurde die Endotoxinaktivität mithilfe des als Standardverfahren beschriebenen Limulus-Amoebozyten-Lysat-(LAL)-Tests bestimmt [11]. Teilweise erfolgten die Endotoxinanalysen jedoch unter sehr unterschiedlichen Bedingungen hinsichtlich der zur Probenahme verwendeten Filter, Extraktion der Proben und Lagerung der Extrakte bis zur Analyse. Aus der bisher vorliegenden Datenbasis können daher weder präzise Angaben für einzelne Branchen entnommen werden, noch erlaubt sie die Ableitung eines Schwellen- oder Grenzwertes für Endotoxine. Bei einer internationalen Veranstaltung im April 2007 in Dresden wurden die Inhalte dieser Veröffentlichung weitgehend bestätigt [31].

3.3 Luftbefeuchtungseinrichtungen

Für den hygienisch einwandfreien Betrieb von Luftbefeuchtungseinrichtungen fordert die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung in ihrem Geltungsbereich die Einhaltung der Richtwerte 1000 KBE/m³ Atemluft am Arbeitsplatz und 1000 KBE/ml im Befeuchterwasser. Werden diese Werte übertroffen, sind Wartungs-, Reinigungs- bzw. Sanierungsarbeiten der Anlagen angezeigt [32].

3.4 Innenräume

Für die Bewertung des Vorkommens von biologischen Arbeitsstoffen in der Luft in Innenräumen, insbesondere in Büroräumen, werden in der Literatur unterschiedliche Herangehensweisen vorgeschlagen (Zusammenfassung siehe [33]). Manche Autoren bewerten bereits Messwerte aus Innenräumen, die um 100 KBE/m³ Luft höher liegen als die Außenluftreferenz, als Schimmelpilzbelastung [34]. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich betont werden, dass es sich bei allen Werten um reine Erfahrungsrichtwerte der jeweiligen Autoren handelt. Dies gilt auch für Werte, die in einem Leitfaden des Landesgesundheitsamts Stuttgart zur Beurteilung des Vorkommens von Schimmelpilzen in Innenräumen genannt werden [35]. Die Broschüre enthält viele wertvolle Hinweise zur Thematik.

An verschiedenen Arbeitsplätzen vorkommende biologische Arbeitsstoffe und von ihnen ausgelöste Erkrankungen
(Beispiele – ohne Anspruch auf Vollständigkeit)
EAA = Exogen-allergische Alveolitis
ODTS = Organic Dust Toxic Syndrome
FSME = Frühsommer-Meningoenzephalitis

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger
Landwirtschaft (z. B. Getreide-, Milchprodu-zenten, Tierzüchter)	Allergien Farmerlunge (EAA) ODTS Zoonosen, z. B. Leptospirose Brucellose Q-Fieber Listeriose Hautmykosen Hautinfektion (Lymphadenitis)	Schimmelpilze Actinomyceten *Erwinia herbicola* u.a. *Leptospira interrogans* *Brucella spec.* *Coxiella burnetii* *Listeria monocytogenes* *Dermatophyten* *(Trichophyton spp.)* *Melkerknotenvirus, Orfvirus*
Veterinäre, Tierpfleger, Fleischverarbeitung, Zooarbeiter	Zoonotische Infektionen (siehe „Landwirtschaft“)	Bakterien, Pilze, Viren
Fischerei, Aquarienhandlungen	kutane Mycobacteriosen Leptospirose	*Mycobacterium marinum* *Leptospira interrogans*
Vogelzüchtung	Vogelhalterlunge (EAA) Lungenkrebs Ornithose Kryptokokkose	mikrobiell belasteter Kot mikrobiell belasteter Kot *Chlamydia psittaci* *Cryptococcus neoformans*
Gärtnerei, Pilzzüchtung	Tetanus Zoonosen (s. o.) Pilzsporen-Alveolitis (EAA) Pilzarbeiterlunge	*Clostridium tetani* Bakterien Austernseitlinge Actinomyceten im Kompost
Forstwirtschaft	Frühsommer-Meningoenzephalitis Borreliose Tollwut Sporotrichosenmykose	FSME-Virus *Borrelia burgdorferi* Rabiesvirus *Sporothrix schenckii*
Lederindustrie, Pelzindustrie	Zoonosen, z. B. Milzbrand Erysipeloid Hautmykosen	 *Bacillus anthracis* *Erysipelothrix rhusiopathiae* *Trichophyton mentagrophytes*
Textilindustrie, Baumwoll-, Flachs-, Hanfspinnerei	Byssinose	Endotoxine, gramnegative Bakterien, *Erwinia herbicola*
Müllverarbeitung, Müllsortierung, Kompostieranlagen, Deponien	Allergien EAA ODTS Infektionen, z. B. Gastroenteritis Aspergillose, Aspergillom	Schimmelpilze, Actinomyceten, gramnegative Bakterien Enteroviren, Enterobakterien *Aspergillus fumigatus*
Großhandel, Lagerei, Brauerei, Getreidesilos (z. B. Malz, Nüsse, Kräuter)	EAA, z. B. Obstbauerlunge Malzarbeiterlunge Bagassose ODTS	*Penicillium spp.,* *Aspergillus spp.* *Aspergillus clavatus,* *Mucor mucedo* *Thermoactinomyces sacchari* Endotoxine, gramnegative Bakterien
Sägewerke, Holzverarbeitung, Papierwerke	Holzarbeiterlunge (EAA) ODTS	Schimmelpilze (Alternaria, Aspergillus), gramnegative Bakterien Endotoxine
Archive, Museen, Büchereien	ODTS Allergien	Endotoxine Schimmelpilze (Penicillium u.a.) gramnegative Bakterien
Druckereien luftbefeuchtete Räume (Raumlufttechnische Anlagen, Luftbefeuchter)	ODTS, z. B. Befeuchterfieber Pontiacfieber Befeuchterlunge (EAA) *Asthma bronchiale* Legionärskrankheit Sick-Building-Syndrom	 Endotoxine (gramnegative Bakterien) Endotoxine *(Legionella pneumophila)* gramnegative Bakterien Schimmelpilze, Actinomyceten *Legionella pneumophila* gramnegative Bakterien, Schimmelpilze

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger
Metallver- und -bearbeitung (Kühlschmierstoffeinsatz)	Wundinfektion Lungeninfektion *Asthma bronchiale* Befeuchterlunge (EAA) Kontaktdermatitis	*Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus* *Acinetobacter calcoaceticus* Schimmelpilze, Bakterien
Schwimmbäder, Saunen, Whirlpools	Whirlpool-Dermatitis *Otitis media* Legionellose Hautmykosen Schwimmbad-Konjunktivitis Augen-, Lungeninfektion Gastroenteritis	*Pseudomonas aeruginosa* *Legionella pneumophila* Dermatophyten *Chlamydia trachomatis* Adenoviren, Reoviren Norwalk-, Rotaviren
Wäschereien	Hautmykosen Allergien	Dermatophyten Schimmelpilze
Bergwerke	Hautmykosen Leptospirose	*Trichophyton spp.* *Leptospira interrogans*
Kläranlagen, Kanalarbeiten	Hepatitis A Salmonellose Enterovirose Leptospirose	Hepatitis-A-Virus *Salmonella enteritidis* Echo-, Rotavirus *Leptospira interrogans*
Biotechnologie, Lebensmittelindustrie	Allergien Hautirritationen ODTS	biotechnologische Produkte, Schimmelpilze Proteasen von *Bacillus subtilis* Endotoxine
Bäckereien	Bäckerasthma	u.a. Pilze, Bakterien, Amylasen
Gesundheitswesen, Krankenhäuser, Diagnose-Laboratorien, Rettungsdienste, Polizei	verschiedene Infektionen, z. B. Hepatitis B Tuberkulose Keuchhusten Aids	 Hepatitis-B-Virus *Mycobacterium tuberculosis* *Bordetella pertussis* HIV-Virus

4 Literatur

[1] Richtlinie 2000/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (7. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikel 16 Abs. 1 der Richtlinie 89/391/EWG) ABl. EG Nr. L 262 S. 21

[2] Verordnung zur Umsetzung von EG-Richtlinien über den Schutz der Beschäftigten gegen Gefährdung durch Biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit vom 27. Januar 1999, BGBl. I, S. 50

[3] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufungskriterien für Biostoffe (TRBA 450). Ausg.: 6/2000. BArbBl. (2000) Nr. 6, S. 58-61, geänd. BArbBl. (2002) Nr. 4, S. 127-128, BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 86 und BArbBl. (2003) Nr. 3, S. 59-60

[4] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460). Ausg. 10/2002. BArbBl (2002) Nr. 10, S. 78-84

[5] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Viren in Risikogruppen (TRBA 462). GMBl. (2012) Nr. 15-20, S. 299-372

[6] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (TRBA 464). Ausg. 4/2002. BArbBl. (2002) Nr. 4, 134-139, geänd. BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 86

[7] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Procaryonten (Bacteria und Archaea) in Risikogruppen (TRBA 466). GMBl. (2010) Nr. 68-80, S. 1428-1490, zuletzt ergänzt durch GMBl. (2012) Nr. 15-20, S. 380

[8] Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Liste der Zellinien und Tätigkeiten mit Zellkulturen (TRBA 468). GMBl. (2012) Nr. 15-20, S. 250-299

[9] Merkblatt B 004: Sichere Biotechnologie, Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Viren (BGI 631) Ausg. 10/2011

Merkblatt B 005: Sichere Biotechnologie, Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Parasiten. Besondere Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Parasiten (BGI 632). Ausg. 9/2001

Merkblatt B 006: Sichere Biotechnologie, Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Procaryonten (Bacteria und Archaea, BGI 633). Ausg. 7/2005

Merkblatt B 006-1 Sichere Biotechnologie, Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Procaryonten – Ergänzungsliste (Bacteria und Archaea, BGI 633). Ausg. 9/2009

Merkblatt B 007: Sichere Biotechnologie, Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Pilze (BGI 634). Ausg. 8/2002

Merkblatt B 008: Sichere Biotechnologie, Einstufung gentechnischer Arbeiten: Gentechnisch veränderte Organismen (BGI 635). Ausg. 4/1993

Merkblatt B 009: Sichere Biotechnologie, Eingruppierung biologischer Agenzien: Zellkulturen. (BGI 636). Ausg. 9/2011

Hrsg.: Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Carl Heymanns, Köln

[10] Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für gentechnische Arbeiten vom 15. Juni 2010

[11] Biologische Arbeitsstoffe – Rechtlicher Hintergrund (Kennzahl 9400). Anwendung von Meßverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe (Kennzahl 9411). Probenahme von Bioaerosolen am Arbeitsplatz (Kennzahl 9410). Benutzerhinweise für die Auswahl von Meßverfahren für Biostoffe (Kennzahl 9417). Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Probenahme mit Abscheidung auf einem Membranfilter und Bestimmung durch Kultivierung) (Kennzahl 9430). Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9450). In: IFA Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin, Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989

[12] Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe am Arbeitsplatz – Erster Ringversuch „Schimmelpilze" (Kennzahl 9427). In: IFA Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 18. Lfg. IV/97 Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin, Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989

[13] *Averdiek, B.; Deininger, C.; Engelhart, S.; Missel, T.; Philipp, W.; Riege, F.; Schicht, B.; Simon, R.:* Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz — Erster Ringversuch Schimmelpilze. Gefahrstoffe — Reinhalt. Luft 57 (1997), S. 129-136

[14] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Anwendung von Messverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe (TRBA 405). Ausg. 5/2001. BArbBl. (2001) Nr. 5, S. 58-61; geänd. BArbBl. (2003) Nr. 3, S. 59-60, BArbBl. (2006) Nr. 7, S. 193-194

[15] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (TRBA 430). BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 79-83 – aufgehoben

[16] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unterrichtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (TRBA 400). Ausg. 4/2006. BArbBl. (2006) Nr. 6, S. 62-77

[17] Mikroorganismen in der Arbeitsplatzatmosphäre – Aktinomyceten. KAN-Bericht 13,2., erweiterte Auflage (1999). Hrsg.: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa, Sankt Augustin 1999

[18] EN 13098: Workplace atmosphere – guidelines for measurement of airborne micro-organisms and endotoxin. Brüssel, September 2000

[19] *Esmen, N.A.; Hall, T.H.:* Theoretical investigation of the interrelationship between stationary and personal sampling in exposure estimation. Appl. Occup. Environm. Hyg. 15 (2000) Nr. 1, S. 114-119

[20] *Chun, D.T.W.; Chew, V.; Bartlett, K.; Gordon, T.; Jacobs, R.R.; Larsson, B.-M.; Larsson, L.; Lewis, D.M.; Liesivuori, J.; Michel, O.; Milton, D.K.; Rylander. R.; Thorne, P.S.; White, E.M.; Brown, M.E.:* Preliminary report on the results of the second phase of a round-robin endotoxin-assay study using cotton dust. Appl. Occup. Environm. Hyg. 15 (2000) Nr. 1, S. 152-157

[21] *Kolk, A., Van Gelder, R., Schneider, G., Gabriel S.:* Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der IFA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 130-136

[22] *Deininger, C.:* Untersuchungen zur mikrobiellen Luftbelastung in 32 Wertstoffsortieranlagen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998), S. 113-123

[23] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Abfallsortieranlagen: Schutzmaßnahmen (TRBA 210). Ausg. 8/2002. BArbBl. (1999) Nr. 6, S. 77-80; geänd. BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 79 – aufgehoben im Juli 2007, GMBl. Nr. 35 vom 27. Juli 2007, S. 710

[24] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen. (TRBA 211). Ausg. 8/2001. BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 83-89; geänd. BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 84-85 - aufgehoben im Juli 2007, GMBl. Nr. 35 vom 27. Juli 2007, S. 710

[25] *Felten, Ch.; Albrecht, A.; Missel, T.; Willer, E.:* Schimmelpilzkonzentrationen an Arbeitsplätzen in Kompostierungsanlagen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 1081. Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW 2006

[26] Beschluss des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS): Anforderungen an Sortieranalysen (Beschluss 607). BArbBl. (2003) Nr. 10, S. 65-68

[27] Technische Regel für Biostoffe: Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft (TRBA 214). GMBl. (2007) Nr. 35, vom 27. Juli 2007, S. 709-720 – wird derzeit aktualisiert

[28] *Linsel, G.; Kummer, B.:* Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998), Nr. 7/8, S. 281-287

[29] Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit. Report of the Dutch expert committee on occupational standards, a committee of the Health Council of the Netherlands. Hrsg.: Gezondheidsraad, Rijswijk 1998

[30] Irritativ-toxische Wirkungen von luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen am Beispiel der Endotoxine. BArbBl. (2005) Nr. 6, S. 49-59

[31] Schwerpunkt: Endotoxine. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 67 (2007), Nr. 9, S. 345-396

[32] Informationen zur Luftbefeuchtung. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, Wiesbaden 2004 www.bgdp.de

[33] *Deininger, C.; Danhamer, E., Kolk, A., Warfolomeow, I.:* Biologische Einwirkungen. In: Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. 3. Auflage – im Druck

[34] *Senkpiel, K.; Ohgke, H.:* Beurteilung der „Schimmelpilz”-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. gi 113 (1992), S. 42-45

[35] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2001

Physikalische Einwirkungen

1 Lärm

1.1 Einführung und Erläuterungen

1.1.1 Gehörgefährdung

Gehörgefährdung besteht dann, wenn Geräuscheinwirkung zu bleibenden **Hörminderungen** führen kann, d.h., es können sich lärmbedingte Hörverluste vorzugsweise bei den Frequenzen oberhalb 1 kHz ausbilden. Insbesondere sind Gehörgefährdungen auszuschließen, die zu Gehörschäden mit Beeinträchtigung des sozialen Sprachgehörs führen können. Als Kenngrößen für diese Lärmwirkung werden verwendet:

$L_{EX,8h}$ in dB(A)

Tages-Lärmexpositionspegel nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) [1] – kann orts- und personenbezogen ermittelt werden (TRLV Lärm, Teil 1 [2]), stimmt mit $L_{Aeq,8h}$, dem Beurteilungspegel ohne Impulszuschlag nach DIN 45 645 Teil 2 [3] mit der Beurteilungszeit 8 h überein

$L_{EX,40h}$ in dB(A)

Wochen-Lärmexpositionspegel nach LärmVibrationsArbSchV – kann orts- und personenbezogen ermittelt werden [2], wird ausnahmsweise auf Antrag des Arbeitgebers anstelle des $L_{EX,8h}$ gebildet bei täglich stark unterschiedlicher Lärmbelastung und/oder bei Expositionsdauern, die von fünf Tagen pro Woche abweichen

$L_{pC,peak}$ in dB

Spitzenwert des C-bewerteten Schalldruckpegels nach LärmVibrationsArbSchV – kann orts- und personenbezogen ermittelt werden [2]

L_{Terz} in dB

Terzband-Schalldruckpegel als Grenzwert für Ultraschall

Die Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung enthält in der Gruppe der durch physikalische Einwirkungen verursachten Berufskrankheiten die BK 2301 „Lärmschwerhörigkeit".

1.1.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Extraaurale Lärmwirkungen sind diejenigen, die zu erhöhten psychischen oder physischen Beanspruchungen führen können mit Ausnahme der Gehörgefährdung. Als Beispiele seien lärmbedingte Herz-Kreislauf-Effekte und Konzentrationsstörungen durch Umgebungsgeräusche genannt. Extraaurale Lärmwirkungen werden bisher nicht als Berufskrankheit anerkannt. Als Kennwert wird generell der Beurteilungspegel mit Impuls- und Tonzuschlag $L_r = L_{Aeq,8h} + K_I + K_T$ nach DIN 45 645 Teil 2 verwendet.

1.1.3 Unfallgefahren

Unfallgefahren durch Umgebungsgeräusche und beim Tragen von Gehörschutz können durch akustische Verdeckung von Sprache, Warnsignalen oder informationshaltigen Arbeitsgeräuschen entstehen. Kennwerte für die Beeinträchtigung der Sprachkommunikation durch Lärm sind nach DIN EN ISO 9921 [4] der Sprachinterferenzpegel L_{SIL} oder der A-bewertete Mittelungspegel L_{Aeq} für den Kommunikationszeitraum. Kennwerte für die Signalerkennung sind der Signal-Störabstand in dB für Terz- oder Oktavbänder nach DIN EN ISO 7731 [5].

1.2 Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte

1.2.1 Gehörgefährdung

Auslösewerte/maximal zulässige Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
I) Expositionsauslösewert[2]: $L_{EX,8h}$ > 80 dB(A) oder $L_{pC,peak}$ > 135 dB(C)	• Information und Unterweisung der Beschäftigten ($L_{EX,8h}$ ≥ 80 dB(A)) • Bereitstellen geeigneter Gehörschützer • Anspruch auf vorbeugende audiometrische Untersuchungen	§ 11[1] § 8, Abs. 1[1] § 14[1]
II) Expositionsauslösewert[2]: $L_{EX,8h}$ > 85 dB(A) oder $L_{pC,peak}$ > 137 dB(C)	• Kennzeichnung von Lärmbereichen ($L_{EX,8h}$ > 85 dB(A)) • Lärmminderungsprogramm • Benutzungspflicht für Gehörschützer ($L_{EX,8h}$ ≥ 85 dB(A)) • Veranlassung von Gehörvorsorgeuntersuchungen ($L_{EX,8h}$ ≥ 85 dB(A))	§ 7, Abs. 4[1] § 7, Abs. 5[1] ArbSchG § 15, Abs. 2 § 13[1]
III) Maximal zulässige Expositionswerte[3]: $L_{EX,8h}$ = 85 dB(A) oder $L_{pC,peak}$ = 137 dB(C)	• Lärmbedingte Gehörschäden sind möglich • Maximal zulässige Expositionswerte dürfen unter keinen Umständen überschritten werden • Unverzüglich Maßnahmen einleiten, um die Exposition zu verringern • Gründe der Überschreitung ermitteln	 § 8, Abs. 2[1] § 8, Abs. 4[1] § 8, Abs. 4[1]
IV) L_{Terz} (20 kHz) < 110 dB	• Bleibende Gehörschäden durch Ultraschall sind nicht wahrscheinlich, wenn dieser Richtwert eingehalten wird. Für höhere Frequenzen werden auch höhere Grenzwerte diskutiert	VDI 2058 Blatt 2 [6]

[1] *LärmVibrationsArbSchV*

[2] *Wirkung des Gehörschützers wird nicht berücksichtigt*

[3] *Wirkung des Gehörschützers wird berücksichtigt*

1.2.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
L_r > 55 dB(A)	• Geräusche stören und führen zu vegetativen Reaktionen und Leistungsbeeinträchtigungen. • Grenzwert gilt für überwiegend geistige Tätigkeiten, bei denen eine hohe Komplexität mit entsprechenden Schwierigkeiten, schöpferisches Denken, Entscheidungsfindung, Problemlösungen und einwandfreie Sprachverständlichkeit gefordert werden, z.B. Teilnahme an Besprechungen, Lehrtätigkeit in Unterrichtsräumen, wissenschaftliches Arbeiten, Untersuchen, Behandeln und Operieren durch Ärzte, Durchführen technisch-wissenschaftlicher Berechnungen, Tätigkeit in Funkräumen und Notrufzentralen.	VDI 2058 Blatt 3 [7]
L_r > 70 dB(A)	• Geräusche stören und führen zu vegetativen Reaktionen und Leistungsbeeinträchtigungen. • Grenzwert gilt für einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten: z.B. Textverarbeitung, Steuerungsanlagen in geschlossenen Messwarten, Verkaufen, schwierige Feinmontagen.	VDI 2058 Blatt 3 [7]
L_r ≥ 80 dB(A)	• Kein Einsatz von Schwangeren	Mutterschutzgesetz [8] § 4, Übereinkommen der Staatlichen Gewerbeärzte

1.2.3 Unfallgefahren

Kein Grenzwert festgelegt: Wird durch Hörprobe (nötigenfalls beim Tragen von Gehörschützern) nach DIN EN ISO 7731 festgestellt, dass im Lärm Gefahrensignale nicht wahrgenommen werden können, sollte gestützt auf § 3 Abs. 3 LärmVibrationsArbSchV mit Maßnahmen der technischen Lärmminderung oder, falls dies nicht möglich ist, durch Verbesserung der Signalgeber die Wahrnehmbarkeit für alle Beschäftigten sichergestellt werden.

1.3 Literatur

[1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. (2007) I Nr. 8, S. 261

[2] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, TRLV Lärm, Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Lärm. Ausgabe Januar 2010, GMBl. (2010) Nr. 18-20, S. 362, Internet: http://www.baua.de/TRLV

[3] DIN 45 645 Teil 2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz. Ausg. 7/1997. Beuth, Berlin 1997

[4] DIN EN ISO 9921: Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation. Ausg. 2/2004. Beuth, Berlin 2004

[5] DIN EN ISO 7731: Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale. Ausg. 2/1999, Beuth, Berlin 2005

[6] VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Ausg. 6/1988, Beuth, Berlin 1988

[7] VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Ausg. 2/1999, Beuth, Berlin 1999

[8] Gesetz zum Schutz der erwerbstätigen Mutter (Mutterschutzgesetz – MuSchG) vom 20. Juni 2002, BGBl. (2002) I, S. 2318, in der Fassung vom 5. Dezember 2006

2 Vibrationen

2.1 Einführung und Erläuterung relevanter Grenzwerte in Normen und Verordnungen

Die Gefährdung der Gesundheit durch Vibrationen ist von der Einleitungsstelle in den menschlichen Körper, Art und Ausmaß der Vibrationseinwirkung und einer sich über Jahre hinweg fortsetzenden täglichen Wiederholung der Vibrationseinwirkung abhängig. Entsprechend der Einleitungsstelle von Vibrationen in den menschlichen Körper werden unterschieden:

- Hand-Arm-Vibrationen; Vibrationseinwirkung über die Hände, z.B. ausgehend von handgehaltenen und handgeführten vibrierenden Werkzeugen, Geräten, Maschinen oder Werkstücken sowie möglicherweise von Bedienelementen an mobilen und stationären Maschinen

- Ganzkörper-Vibrationen; Vibrationseinwirkungen über die Füße (stehend) oder das Gesäß (sitzend), z.B. ausgehend von Fahrzeugen, Erdbaumaschinen, Gabelstaplern oder Traktoren

Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung [1] enthält in der Gruppe der durch physikalische Einwirkungen verursachten Berufskrankheiten (BKen) drei Positionen, die mit Vibrationen verbunden sind:

- BK 2103 – Erkrankungen durch Erschütterungen bei Arbeiten mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen

- BK 2104 – Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können

- BK 2110 – Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können (siehe auch überarbeitetes Merkblatt zur BK 2110 [2])

Vibrationseinwirkungen sind mitwirkende Faktoren für die neue Berufskrankheit „Carpaltunnel-Syndrom“ [16] und die Wie-Berufskrankheit „Hypothenar-Hammer-Syndrom“ [17].

In den Merkblättern zu den BKen werden Belastungen nur beschrieben, die zu den Krankheitsbildern führen können. Es werden bisher für die BKen dort keine festen Grenzwerte formuliert. Im Gegensatz dazu gibt es im Bereich der Prävention Grenzwerte für HAV und GKV. Ausgangspunkt ist die Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkung (Vibrationen) [3]. Sie ist als 16. Einzelrichtlinie zur Rahmenrichtlinie 89/391/EWG über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit [4] veröffentlicht worden und enthält Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte für Hand-Arm-Vibrationen und Ganzkörper-Vibrationen.

Die Richtlinie 2002/44/EG ist national im Bereich des Bergrechts durch die Änderung der Bergverordnung im Jahr 2005 [5; 6] umgesetzt worden, im Übrigen durch die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007, in Kraft getreten am 9. März 2007 [7]. Darin ist gleichlautend mit der EG-Richtlinie für den auf acht Stunden normierten Tages-Vibrationsexpositionswert A(8) der tägliche Expositionsgrenzwert für Hand-Arm-Vibrationen auf A(8) = 5 m/s^2 festgesetzt, der tägliche Auslösewert auf A(8) = 2,5 m/s^2.

Für Ganzkörper-Vibrationen beträgt der tägliche Expositionsgrenzwert A(8) = 1,15 m/s^2 in x- und y-Richtung und – abweichend von der EG-Richtlinie – A(8) = 0,8 m/s^2 in z-Richtung. Der tägliche Auslösewert beträgt A(8) = 0,5 m/s^2 in allen drei Schwingungsrichtungen.

Die Exposition der Arbeitnehmer darf den Expositionsgrenzwert nicht überschreiten. Die Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Vibrationen [8]) konkretisieren die Verordnung. Wenn Arbeitgeber die dort beispielhaft genannten Maßnahmen anwenden, können sie die Vermutung der Einhaltung der Vorschriften der LärmVibrationsArbSchV für sich geltend machen.

Wird bei der Gefährdungsbeurteilung festgestellt, dass Auslösewerte überschritten werden, ist ein Programm mit technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung der Expositionen gegenüber Vibrationen sowie der damit verbundenen Risiken auszuarbeiten und durchzuführen. Mit dem Ziel, die Schwingungsbelastung zu verringern, sind zu berücksichtigen: alternative Arbeitsverfahren, die Auswahl geeigneter ergonomischer Arbeitsmittel, die Bereitstellung von Zusatzausrüstungen wie schwingungsdämpfenden Sitzen und geeigneten Gerätehandgriffen, angemessene Wartungsprogramme, Gestaltung und Auslegung der Arbeitsstätten und Arbeitsplätze, angemessene Information und Schulung der Arbeitnehmer, Begrenzung der Dauer und Intensität der Exposition, zweckmäßige Arbeitspläne und ausreichende Ruhezeiten sowie die Bereitstellung von Kleidung für gefährdete Arbeitnehmer zum Schutz vor Kälte und Nässe.

Darüber hinaus ist beim Erreichen oder Überschreiten der Auslösewerte eine Unterweisung der Beschäftigten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung der Beschäftigten sicherzustellen. Eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung ist beim Überschreiten der Auslösewerte dem Beschäftigten anzubieten und beim Erreichen oder Überschreiten der Expositionsgrenzwerte regelmäßig zu veranlassen. Eine Handlungsanweisung für die arbeitsmedizinische Vorsorge gibt der Berufsgenossenschaftliche Grundsatz G 46 „Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen“ [9].

2.2 Bestimmung von A(8)

Die EU-Richtlinie verweist zur Bestimmung des Tages-Vibrationsexpositionswertes A(8) (Tages-Schwingungsbelastung) im Anhang auf die Norm ISO 5349-1 [10] für Hand-Arm-Vibration und für Ganzkörper-Vibration auf die Norm ISO 2631-1 [11]. Beide Normen werden in der Neufassung der VDI-Richtlinie 2057 [12] berücksichtigt.

Die LärmVibrationsArbSchV verweist nicht auf einzelne Normen, vielmehr darauf, dass der Stand der Technik zu berücksichtigen ist. Die Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung ist für Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungen getrennt vorzunehmen.

2.2.1 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Hand-Arm-Schwingungen

Die Messgröße für die Schwingungseinwirkung auf das Hand-Arm-System ist der Schwingungsgesamtwert a_{hv}. Dieser wird aus den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung der drei Messrichtungen wie folgt bestimmt:

$$a_{hv} = \sqrt{a^2_{hwx} + a^2_{hwy} + a^2_{hwz}} \qquad (1)$$

Sofern nur Werte in der dominierenden Schwingungsrichtung zur Verfügung stehen, z.B. bei älteren Messwerten, kann der Schwingungsgesamtwert a_{hw} entsprechend der Richtlinie VDI 2057-2: 2002 mit den Korrekturfaktoren c nach Gleichung (2) abgeschätzt werden (Tabelle 1):

$$a_{hv} = c \cdot a_{hw} \qquad (2)$$

Tabelle 1:
Korrekturfaktoren (Quelle: VDI 2057-2: 2012)

	Beispiele	Korrekturfaktor c
Schlagende Maschinen	Meißelhämmer Aufbruchhämmer Abbauhämmer Nadelentrosten	1,2
Rotierende und oszillierende Maschinen	Bohrhämmer Schlagbohrmaschinen Winkelschleifmaschinen Geradschleifmaschinen Vertikalschleifmaschinen Schwingschleifmaschinen Pneumatische Bohrmaschinen Stichsägen Kreissägen	1,4

Daraus ergibt sich der Tages-Vibrationsexpositionswert, der auch als Tages-Schwingungsbelastung $[a_{hv(8)} = A(8)]$ bezeichnet wird, wie folgt:

$$a_{hv(8)} = a_{hv} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \qquad (3)$$

mit

T_0 = 8 h Bezugseinwirkungsdauer
T_e = tägliche Einwirkungsdauer in Stunden
a_{hv} = Schwingungsgesamtwert für die tägliche Einwirkungsdauer T_e

Setzt sich die Schwingungsbelastung während eines Tages aus n Belastungsabschnitten zusammen (unterschiedliche Geräte oder Arbeitsgänge), so berechnet sich $a_{hv(8)}$ wie folgt:

$$a_{hv(8)} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^{n} a^2_{hvi} T_i} \qquad (4)$$

mit

T_0 = 8 h Bezugseinwirkungsdauer

T_i = Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnittes, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs in Stunden

a_{hvi} = Schwingungsgesamtwert der i-ten Tätigkeit, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs

2.2.2 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Ganzkörper-Schwingungen

Die Tages-Schwingungsbelastung oder Beurteilungsbeschleunigung $A_l(8)$ wird zunächst in den drei Raumrichtungen $l = \{x, y, z\}$ separat ausgewertet [13]. Bei n Arbeitsgängen ergibt sie sich aus den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung analog zu Gleichung (4). Zusätzlich wird noch ein richtungsabhängiger Faktor k_l berücksichtigt:

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a^2_{wli} T_i} \qquad (5)$$

mit
$T_0 = 8h$ Bezugseinwirkungsdauer
T_i Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnittes, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs in Stunden
a_{wli} energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung der i-ten Tätigkeit, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs
$\{k_x = k_y = 1{,}4$, $k_z = 1{,}0\}$ Richtungsabhängige Faktoren für das Kriterium Gesundheit [12]

Der Tages-Vibrationsexpositionswert A(8) ist diejenige Tages-Schwingungsbelastung $A_l(8)$,

- die entweder zu den meisten Maßnahmen führt (Expositionswertüberschreitung vor Auslösewertüberschreitung)
- oder die am schnellsten zum Expositionsgrenzwert führt (bei mehreren Auslösewertüberschreitungen)
- oder die am größten ist (falls nur eine oder keine Auslösewertüberschreitung voliegt).

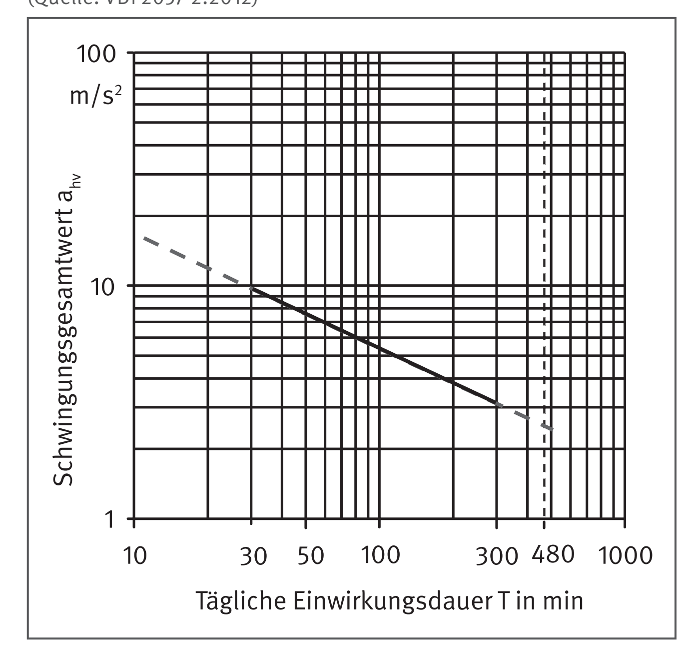
2.3 Richtwertkurven für die Prävention

2.3.1 Richtwertkurve Hand-Arm-Schwingungen

Entlang der in Abbildung 1 gezeigten Richtwertkurve [12] gilt $a_{hv(8)}(a_{hv}, T_e) = 2{,}5$ m/s² (Gleichung 3). Bei Belastungen, gekennzeichnet durch Wertepaare a_{hv} und T_e, die oberhalb der Richtwertkurve liegen, werden Präventionsmaßnahmen empfohlen.

Hilfestellungen zur Abschätzung der Einwirkungsdauer bei der Benutzung einzelner Arbeitsmaschinen enthält DIN V 45 694 [14].

Abbildung 1:
Richtwertkurve als Grundlage für die Prävention in Abhängigkeit vom Schwingungsgesamtwert und der täglichen Einwirkungsdauer (Quelle: VDI 2057-2:2012)



2.3.2 Richtwertkurve Ganzkörper-Schwingungen

In der Neufassung der VDI 2057-1:2002 [12] wird für Ganzkörper-Schwingungen entsprechend ISO 2631-1:1997 ein Bereich möglicher Gesundheitsgefährdung definiert (Abbildung 2).

Oberhalb der Richtwertkurve 1 mit $a_{wz(8)} = 0{,}45$ m/s² kann von einer möglichen Gefährdung, bei Belastungen oberhalb der Richtwertkurve 2 mit $a_{wz(8)} = 0{,}8$ m/s² von einer deutlichen Gefährdung ausgegangen werden. Der letztgenannte Wert liegt unterhalb des Expositionsgrenzwertes für Ganzkörper-Schwingungen nach der EU-Richtlinie 2002/44/EG und ist der Expositionsgrenzwert in z-Richtung, der für die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung gilt.

Für die Vibrationseinwirkung in Gebäuden (Neuanlagen) gibt die Richtlinie VDI 2057-3:2006 Anhaltswerte für die Arbeitsplatzgestaltung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungen. Tabelle 2 entspricht inhaltlich auch der Tabelle 1 im Teil 1 der TRLV Vibrationen [8]. Weil es sich um Werte zum Kriterium „Schwingungswahrnehmung und Wohlbefinden" handelt, werden die Werte $a_{we,x}$, $a_{we,y}$ für die horizontalen Schwingungsrichtungen nicht mit dem Faktor 1,4, sondern mit 1,0 multipliziert, um a_{we} zu erhalten.[1]

[1] *Die genannten Anhaltswerte beziehen sich ausdrücklich nicht auf Gesundheitsgefährdungen*

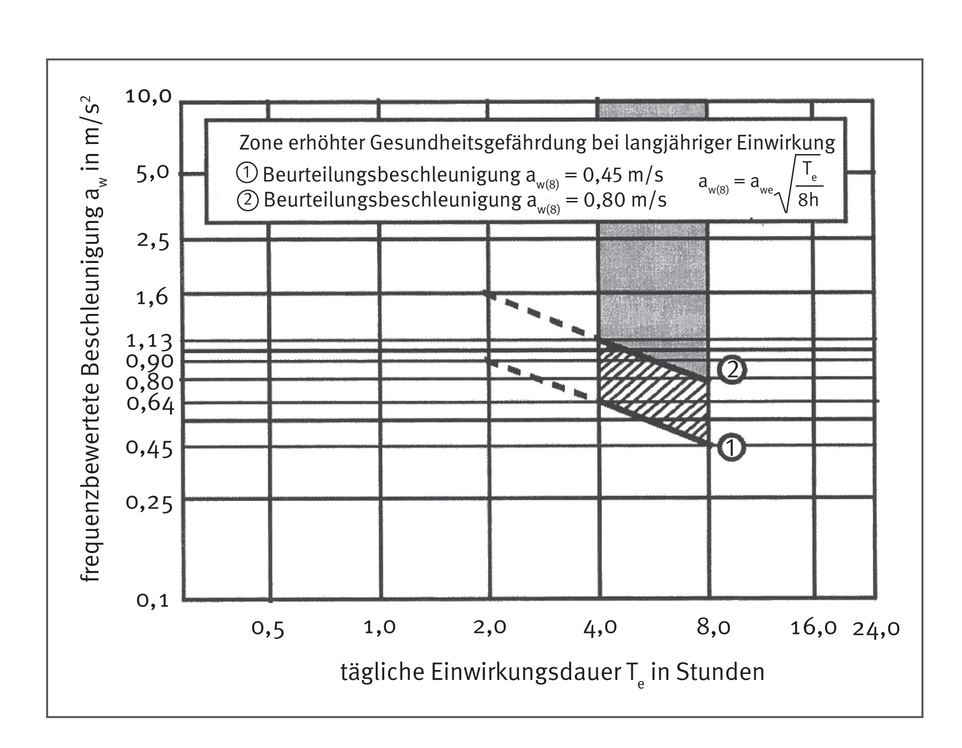


Abbildung 2:
Gesundheitsgefährdung in Abhängigkeit vom Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung und der täglichen Einwirkungsdauer; die dargestellte Beziehung sagt nicht das Risiko für ein bestimmtes Individuum voraus, das zu einer Gruppe von Personen gehört, die derselben Schwingungsbelastung ausgesetzt sind (VDI 2057-1:2002)

Tabelle 2:
Anhaltswerte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungsarten

Einwirkungsorte	In x-, y-, z-Richtung jeweils		
	a_{we} in m/s²	$a_{w(8)}$ in m/s²	max. $\{a_{wF}(t)\}$ in m/s²
Erholungsräume, Ruheräume, Sanitätsräume (evtl. auch Aufenthaltsräume)	0,01		0,03
Arbeitsplätze mit hohen Anforderungen an die Feinmotorik (z.B. Forschungslabor)	0,015		0,015
Arbeitsplätze mit überwiegend geistiger Tätigkeit (z.B. Schaltwarten, Büroräume)		0,015	0,045
Arbeitsbereiche mit erhöhter Aufmerksamkeit (z.B. Werkstätten)		0,04	0,12
Arbeitsbereiche mit einfachen oder überwiegend mechanischen Tätigkeiten		0,08	
Sonstige Arbeitsbereiche		0,15	

max. $\{a_{wF}(t)\}$: Für stark stoßhaltige Anregungen
Maximalwert des gleitenden Effektivwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung mit der Integrationszeitkonstanten $\tau = 0{,}125$ c

Die Anhaltswerte liegen unterhalb des Auslösewertes der LärmVibrationsArbSchV. Durch die Vibrationseinwirkung in Gebäuden kann es aber mittelbar zu Gefährdungen kommen (z.B. Unfälle), sodass in diesem Fall auch Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind.

In einigen Sonderbereichen, z.B. Schmieden und Gießereien, ist die Einhaltung dieser Anhaltswerte derzeit bei Anwendung des Standes der Schwingschutztechnik nicht immer möglich.

2.4 Einfaches Verfahren zur Gefährdungsanalyse

2.4.1 Punktwerte für Hand-Arm-Schwingungen

Das Verfahren nach DIN V 45694 [14] verwendet Punktwerte P_E für die Schwingungsbelastung aus dem Schwingungsgesamtwert a_{hv} einzelner Arbeitsmaschinen oder Arbeitsaufgaben, hier äquivalenter Schwingungsgesamtwert $a_{hv,eq}$ genannt, und der dazugehörigen Einwirkungsdauer T_e (Exposition). Diese Punktwerte können aus Tabelle 3 (siehe Seite 152) abgelesen werden.

Bei mehreren Schwingungseinwirkungen, d.h. Benutzung von zwei oder mehr Maschinen oder Arbeitsprozessen an einem Tag, kann der Punktwert $P_{E,tot}$ der Gesamt-Schwingungsbelastung infolge aller n Teilbelastungen durch einfache Addition der Punktwerte $P_{E,i}$ jeder betrachteten Schwingungseinwirkung i bestimmt werden.

Zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung wird der Punktwert der Gesamt-Schwingungsbelastung dem Expositionsbereich zugeordnet (siehe Tabelle 4 auf Seite 153), woraus sich nach der LärmVibrationsArbSchV die jeweiligen Maßnahmen durch den Arbeitgeber ergeben.

Weiterführende Informationen sowie ein Kennwertrechner können im Internetangebot des IFA unter www.dguv.de/ifa, Webcode d3245, abgerufen werden.

2.4.2 Punktwerte für Ganzkörper-Schwingungen

Ein ähnliches Verfahren zur Gefährdungsanalyse mithilfe von Punktwerten existiert auch für Ganzkörper-Schwingungen [15]. Ausgangsgrößen zur Bestimmung der Tagesexposition sind hier die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei Schwingungsrichtungen x, y, z und die zugehörige Einwirkungsdauer T_e. Bei Ganzkörper-Schwingungen sind jedoch die für die Schwingungsrichtung z einerseits und die Schwingungsrichtungen x und y andererseits unterschiedlichen Expositionsgrenzwerte zu beachten.

Auch bei Ganzkörper-Schwingungen wird der Auslösewert 0,5 m/s² mit dem Punktwert 100 verknüpft. Für den Expositionsgrenzwert 0,8 m/s² für die z-Schwingungsrichtung ergibt sich ein Punktwert von 256, für den Expositionsgrenzwert 1,15 m/s² für die Schwingungsrichtungen x und y ein Punktwert von 529. Für die Nutzung eines einzelnen Fahrzeuges oder einer einzelnen Arbeitsmaschine können die zu den Beschleunigungswerten (ggf. unter Berücksichtigung des Faktors $k_{x,y} = 1{,}4$ wie oben angegeben) zugehörigen Punktwerte unter Berücksichtigung der Einwirkungsdauer aus Tabelle 5 (siehe Seite 154) abgelesen und miteinander verglichen werden. Tabelle 6 (siehe Seite 155) unterstützt die Beurteilung und führt erforderliche Maßnahmen auf.

Bei mehreren Schwingungseinwirkungen durch Nutzung mehrerer Maschinen an einem Tag gelangt man auch für Ganzkörper-Schwingungen über die Addition der Einzelpunktwerte $P_{E,i}$ zu einem Ergebnis für die Summenpunktzahl $P_{E,tot}$ (Tabelle 6). Daraus ergeben sich die erforderlichen Maßnahmen.

Tabelle 3:
Bestimmung der gerundeten Punktwerte P_E der Schwingungsbelastung aus dem äquivalenten Schwingungsgesamtwert und der zugehörigen Einwirkungsdauer nach Richtlinie 2002/44/EG [3] – Hand-Arm-Vibration

Äquivalenter Schwingungs-gesamtwert $a_{hv, eq}$ in m/s²	Einwirkungsdauer T_e									
	0,1 h	0,2 h	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h
	6 min	12 min	30 min	60 min	120min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min
2,5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
3	2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
3,5	2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
4	3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
4,5	4	8	20	41	81	122	162	203	243	324
5	5	10	25	50	100	150	200	250	300	400
5,5	6	12	30	61	121	182	242	303	363	484
6	7	14	36	72	144	216	288	360	432	576
6,5	8	17	42	85	169	254	338	423	507	676
7	10	20	49	98	196	294	392	490	588	784
7,5	11	23	56	113	225	338	450	563	675	900
8	13	26	64	128	256	384	512	640	768	1 024
8,5	14	29	72	145	289	434	578	723	867	1 156
9	16	32	81	162	324	486	648	810	972	1 296
9,5	18	36	90	181	361	542	722	903	1 083	1 444
10	20	40	100	200	400	600	800	1 000	1 200	1 600
10,5	22	44	110	221	441	662	882	1 103	1 323	1 764
11	24	48	121	242	484	726	968	1 210	1 452	1 936
11,5	26	53	132	265	529	794	1 058	1 323	1 587	2 116
12	29	58	144	288	576	864	1 152	1 440	1 728	2 304
12,5	31	63	156	313	625	938	1 250	1 563	1 875	2 500
13	34	68	169	338	676	1 014	1 352	1 690	2 028	2 704
13,5	36	73	182	365	729	1 094	1 458	1 823	2 187	2 916
14	39	78	196	392	784	1 176	1 568	1 960	2 352	3 136
14,5	42	84	210	421	841	1 262	1 682	2 103	2 523	3 364
15	45	90	225	450	900	1 350	1 800	2 250	2 700	3 600
15,5	48	96	240	481	961	1 442	1 922	2 403	2 883	3 844
16	51	102	256	512	1 024	1 536	2 048	2 560	3 072	4 096
16,5	54	109	272	545	1 089	1 634	2 178	2 723	3 267	4 356
17	58	116	289	578	1 156	1 734	2 312	2 890	3 468	4 624
17,5	61	123	306	613	1 225	1 838	2 450	3 063	3 675	4 900
18	65	130	324	648	1 296	1 944	2 592	3 240	3 888	5 184
18,5	68	137	342	685	1 369	2 054	2 738	3 423	4 107	5 476
19	72	144	361	722	1 444	2 166	2 888	3 610	4 332	5 776
19,5	76	152	380	761	1 521	2 282	3 042	3 803	4 563	6 084
20	80	160	400	800	1 600	2 400	3 200	4 000	4 800	6 400

Tabelle 4:
Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber aufgrund von Hand-Arm-Vibrations-Schwingungsbelastung nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [3]

Punktwert $P_{E,tot}$ der Gesamt-schwingungs-belastung	**Tagesexpositions-wert A(8)**	**Expositionsbereich**	**Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber**
$P_{E,tot} < 100$	$A(8) < 2{,}5\ m/s^2$	Auslösewert nicht überschritten	Nur Maßnahmen bei mittelbaren Gefährdungen erforderlich Das Minimierungsgebot nach Arbeitsschutzgesetz bleibt davon unberührt [Absenken der Risiken durch Vibrationseinwirkung auf ein Minimum (Stand der Technik) und Bedienern Informationen und Schulung zur Vibrationsminderung bereitstellen]
$P_{E,tot} = 100$	$A(8) = 2{,}5\ m/s^2$	Auslösewert erreicht	Beschäftigte sind über Gesundheitsgefährdungen zu unterweisen.
$100 < P_{E,tot} < 400$	$2{,}5\ m/s^2 < A(8) < 5\ m/s^2$	Über dem Auslösewert, aber unter dem Expositionsgrenzwert	Zusätzlich zur Unterweisung ist ein Aktionsprogramm zur Verringerung der Exposition durch Vibrationen durchzuführen. Den Beschäftigten ist eine Vorsorgeuntersuchung nach G 46 [9] anzubieten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist sicherzustellen.
$400 = P_{E,tot}$	$5\ m/s^2 = A(8)$	Expositionsgrenzwert erreicht	Regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen nach G 46 [9] sind zu veranlassen.
$400 < P_{E,tot}$	$5\ m/s^2 \leq A(8)$	Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten	Zusätzlich zur Vorsorgeuntersuchung ist die Schwingungsbelastung **unverzüglich** unter den Grenzwert abzusenken.

Tabelle 5:
Bestimmung der Punktwerte P_E der Schwingungsbelastung aus dem äquivalenten Schwingungsgesamtwert und der zugehörigen Einwirkungsdauer nach Richtlinie 2002/44/EG [3] – Ganzkörper-Vibration

Äquivalenter Vibrationswert $a_{we} = k \cdot a_{w,eq}$ [m/s²]	Einwirkungsdauer T_e									
	0,1 h	0,2 h	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h
	6 min	12 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min
0,45	1	2	5	10	20	30	41	51	61	81
0,5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
0,55	2	3	8	15	30	45	61	76	91	121
0,6	2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
0,65	2	4	11	21	42	63	85	106	127	169
0,7	2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
0,75	3	6	14	28	56	84	113	141	169	225
0,8	3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
0,85	4	7	18	36	72	108	145	181	217	289
0,9	4	8	20	41	81	122	162	203	243	324
0,95	5	9	23	45	90	135	181	226	271	361
1,00	5	10	25	50	100	150	200	250	300	400
1,05	6	11	28	55	110	165	221	276	331	441
1,1	6	12	30	61	121	182	242	303	363	484
1,15	7	13	33	66	132	198	265	331	397	529
1,2	7	14	36	72	144	216	288	360	432	576
1,25	8	16	39	78	156	234	313	391	469	625
1,3	8	17	42	85	169	254	338	423	507	676
1,35	9	18	46	91	182	273	365	456	547	729
1,4	10	20	49	98	196	294	392	490	588	784
1,45	11	21	53	105	210	315	421	526	631	841
1,5	11	23	56	113	225	338	450	563	675	900
1,55	12	24	60	120	240	360	481	601	721	961
1,6	13	26	64	128	256	384	512	640	768	1 024
1,65	14	27	68	136	272	408	545	681	817	1 089
1,7	14	29	72	145	289	434	578	723	867	1 156
1,75	15	31	77	153	306	459	613	766	919	1 225
1,8	16	32	81	162	324	486	648	810	972	1 296
1,85	17	34	86	171	342	513	685	856	1 027	1 369
1,9	18	36	90	181	361	542	722	903	1 083	1 444
1,95	19	38	95	190	380	570	761	951	1 141	1 521
2	20	40	100	200	400	600	800	1 000	1 200	1 600
2,05	21	42	105	210	420	630	841	1 051	1 261	1 681
2,1	22	44	110	221	441	662	882	1 103	1 323	1 764
2,15	23	46	116	231	462	693	925	1 156	1 387	1 849
2,2	24	48	121	242	484	726	968	1 210	1 452	1 936
2,25	25	51	127	253	506	759	1 013	1 266	1 519	2 025
2,3	26	53	132	265	529	794	1 058	1 323	1 587	2 116
2,35	28	55	138	276	552	828	1 105	1 381	1 657	2 209
2,4	29	58	144	288	576	864	1 152	1 440	1 728	2 304
2,45	30	60	150	300	600	900	1 201	1 501	1 801	2 401
2,5	31	63	156	313	625	937	1 250	1 563	1 875	2 500

Tabelle 6:
Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber aufgrund von Schwingungsbelastung nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [3]

Schwingungsrichtung z		**Schwingungsrichtungen x, y (incl. Faktor 1,4)**			
Punktwert der Gesamt-schwingungs-belastung	**Tagesexposition A(8)**	**Punktwert der Gesamt-schwingungs-belastung**	**Tagesexposition**	**Expositionsbereich**	**Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber**
$P_{E,tot} < 100$	$A(8) < 0{,}5\ m/s^2$		$A(8) < 0{,}5\ m/s^2$	Auslösewert nicht überschritten	Nur Maßnahmen bei mittelbaren Gefährdungen erforderlich Das Minimierungsgebot nach Arbeitsschutzgesetz bleibt davon unberührt [Absenken der Risiken durch Vibrationseinwirkung auf ein Minimum (Stand der Technik) und Bedienern Informationen und Schulung zur Vibrationsminderung bereitstellen]
$P_{E,tot} = 100$	$A(8) = 0{,}5\ m/s^2$	$P_{E,tot} = 100$	$A(8) = 0{,}5\ m/s^2$	Auslösewert erreicht	Beschäftigte sind über Gesundheitsgefährdungen zu unterweisen.
$100 < P_{E,tot} < 256$	$0{,}5\ m/s^2 < A(8) < 0{,}8\ m/s^2$	$100 < P_{E,tot} < 529$	$0{,}5\ m/s^2 < A(8) < 1{,}15\ m/s^2$	Auslösewert überschritten, aber unter dem Expositionsgrenzwert	Zusätzlich zur Unterweisung ist ein Aktionsprogramm zur Verringerung der Exposition durch Vibrationen durchzuführen. Den Beschäftigten ist eine Vorsorgeuntersuchung nach G 46 [9] anzubieten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist sicherzustellen.
$P_{E,tot} = 256$	$A(8) = 0{,}8\ m/s^2$	$P_{E,tot} = 529$	$A(8) = 1{,}15\ m/s^2$	Expositionsgrenzwert erreicht	Regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen nach G 46 [9] sind zu veranlassen.
$P_{E,tot} > 256$	$A(8) > 0{,}8\ m/s^2$	$P_{E,tot} > 529$	$A(8) > 1{,}15\ m/s^2$	Expositionsgrenzwert überschritten	Zusätzlich zur Vorsorgeuntersuchung ist die Schwingungsbelastung **unverzüglich** unter den Grenzwert abzusenken.

2.5 Literatur

[1] Berufskrankheiten-Verordnung (BeKV) vom 31. Oktober 1997, BGBl. I, S. 2623, in der Fassung vom 5. September 2002, BGBl. I, S. 3541

[2] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2110 Anlage 1 Berufskrankheiten-Verordnung (BeKV) vom 1. Juni 205, BArbBl. (2000) Nr. 7, S. 43

[3] Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen). (16. Einzelrichtlinie im Sinne des § 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), ABl. EG Nr. L 177, S. 13

[4] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juli 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit. ABl. EG Nr. L 183, S. 1

[5] Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung – GesBergV) vom 31. Juli 1991, BGBI. I, S. 1751

[6] Zweite Verordnung zur Änderung bergrechtlicher Verordnungen vom 10. August 2005. BGBI. I, S. 2452, darin: Artikel 1: Änderung der Allgemeinen Bundesbergverordnung vom 23. Oktober 1995. BGBI. I, S. 1466; Artikel 2: Änderung der Gesundheitsschutz-Bergverordnung vom 31. Juli 1991. BGBI. I, S. 1751

[7] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I, S. 261

[8] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – TRLV Vibrationen, Ausgabe: Januar 2010, GMBl. Nr. 14/15 vom 10. März 2010. S. 271 www.baua.de/trlv

[9] Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, Gentner-Verlag, Stuttgart 2007, S. 815-832

[10] DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1: 2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1: 2001. Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2: 2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2: 2001. Beuth, Berlin 2001

[11] ISO 2631-1: 1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements

[12] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen.
Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen. Ausg. 9/2002. Beuth, Berlin 2002
Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen. Ausg. 9/2002. Beuth, Berlin 2002
Blatt 3: Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden. Ausg. 6/2006. Beuth, Berlin 2006

[13] DIN EN 14253: Mechnische Schwingungen – Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung, Deutsche Fassung EN 14253:2003

[14] DIN V 45694: Mechanische Schwingungen – Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen aus Angaben zu den benutzten Maschinen einschließlich Angaben von den Maschinenherstellern (CEN/TR 15350:2006). Ausgabe: 2006-07

[15] *Mohr, D.:* Expositionspunkte für Ganzkörper-Schwingungen. Hrsg.: Landesamt für Arbeitsschutz, Potsdam http://bb.osha.de/docs/GKV_Tafel.pdf

[16] Bek. vom 1. Mai 2009, Berufskrankheiten-Verordnung; Empfehlung des Ärztlichen Sachverständigenbeirats „Berufskrankheiten“. GMBl. (2009) Nr. 27, S. 573

[16] Bek. vom 1. Mai 2012, Berufskrankheiten-Verordnung; Empfehlung des Ärztlichen Sachverständigenbeirats „Berufskrankheiten“. GMBl. (2012) Nr. 25, S. 449

3 Thermische Belastungen

3.1 Klimatische Belastungen

3.1.1 Erläuterungen

Klimatische Belastungen (Klimaempfinden) des menschlichen Körpers werden hauptsächlich durch die Klimafaktoren Luft- und Umgebungsflächentemperatur, relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung sowie durch individuelle Faktoren beeinflusst.

Zu den individuellen Faktoren zählt zum einen der Gesamtenergieumsatz des Menschen. Die innere Wärmeproduktion eines Menschen ist u. a. abhängig vom Stoffwechsel. Bei völliger Ruhe hat der erwachsene Mensch einen Grundumsatz von ca. 0,8 met (1 met = 58 Watt pro m^2 Körperoberfläche). Der Stoffwechsel wird durch jegliche Aktivitäten erhöht. Zum Beispiel beträgt der Gesamtenergieumsatz bei Schwerarbeit an Maschinen 2,8 met oder 162,4 W/m^2, bei Schwerstarbeit sind Spitzenbelastungen von › 232 W/m^2 (4 met) möglich.

Neben dem Gesamtenergieumsatz ist die Bekleidung entscheidend für das thermische Empfinden. Dabei sind die Wärmeisolation (Schutz gegen niedrige Temperaturen) der Kleidung und der Wärmeleitwiderstand (Wärmetransport zwischen Haut und Umgebung) der Kleidung bedeutend.

Darüber hinaus wirken das Geschlecht, das Alter, die Jahreszeit, die Beleuchtung, Geruche, Stresssituationen, Nahrungsaufnahme und physisches sowie psychisches Wohlbefinden auf das klimatische Empfinden ein.

Da die wichtigsten inneren Organe des Menschen nur in einem Temperaturbereich um 37 °C voll funktionsfähig sind, verfügt das Thermoregulationssystem des Menschen über Mechanismen, die für eine konstante Körperkerntemperatur sorgen. Je nach Arbeitsenergieumsatz kann sich der menschliche Körper in gewissen Grenzen wechselnden Zuständen des Umgebungsklimas anpassen. Werden diese Grenzen überschritten, gerät der Wärmehaushalt des Menschen aus dem Gleichgewicht. Dies führt zu einer erhöhten Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Als Folge dieser erhöhten Beanspruchung können kurzzeitige Störungen (z. B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein) oder, bei länger andauernder Belastung, Erkrankungen auftreten. Bei extremen Klimabedingungen können die Belastungen sogar zum Kreislaufversagen und, sofern nicht unverzüglich eingegriffen wird, zum Tode führen.

Trotz einer guten Gesamtklimabewertung können auch einzelne Klima- bzw. Belastungsfaktoren bei Über- oder Unterschreitung gewisser Grenzbereiche kurzfristiges Unbehagen oder bei längerer Einwirkung Erkrankungen hervorrufen.

3.1.2 Klimabereiche und Grenzbetrachtungen

Arbeitsplätze können in vier Klimabereiche eingeteilt werden [1; 2]:

- Kältebereich
- Behaglichkeitsbereich
- Warmbereich
- Hitzebereich

Der Behaglichkeitsbereich beschreibt die Klimaanforderungen und Belastungssituation, die üblicherweise an Arbeitsplätzen vorliegen sollen. Er ist als weitgehend thermisch neutraler Bereich anzusehen. Der Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung steht hier im Gleichgewicht und im Idealfall sind Wärmezu- und -abfuhr ausgeglichen.

Im Warmbereich liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems führen. Bei längeren Einwirkungen ergeben sich Störungen des Klimaempfindens. Der Warmbereich beschreibt somit Belastungssituationen, die nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden führen, jedoch die Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzen. Durch Arbeitspausen von ausreichender Zahl und Dauer, regelmäßigen Ausgleich des Flüssigkeitsverlustes (ggf. verbunden mit der Zuführung von Mineralstoffen), Wahl angemessener Kleidung usw. können die körperliche Belastung gemindert, die Leistungsfähigkeit erhalten und gesundheitliche Probleme in der Regel ausgeschlossen werden.

Tätigkeiten im Kältebereich oder im Hitzebereich sind auf das absolute Mindestmaß zu begrenzen. Personen, die sich in diesen Bereichen aufhalten, müssen einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung nach BGI 504-21 [3] bzw. BGI/GUV-I 504-30 [4] unterzogen werden. In bestimmten Fällen sind bei Arbeiten unter hohen Temperaturen bzw. Hitzebelastungen oder in bestimmten Regionen Tropentauglichkeitsuntersuchungen erforderlich.

3.1.3 Klimabewertung

Eine einfache Bewertung des Raumklimas im Behaglichkeits- und Warmbereich kann ohne großen Messaufwand mithilfe der BGI/GUV-I 7003 „Beurteilung des Raumklimas“ [5] erfolgen. Hierzu müssen lediglich sieben Fragen beantwortet werden. Auch können die Klimadaten vor Ort in einen Klimagraphen eingetragen werden. Das Ergebnis zeigt direkt, ob Handlungsbedarf zum Raumklima besteht. Dabei handelt es sich um eine recht grobe Abschätzung. Sollten detaillierte Informationen benötigt werden, müssen Experten hinzugezogen werden.

3.1.3.1 Behaglichkeitsbereich

Für eine umfassende Bewertung der Behaglichkeit werden der PMV- und der PPD-Index zugrunde gelegt (PMV = predicted mean vote; dt: vorausgesagtes mittleres Votum; PPD = predicted percentage of dissatisfied; dt: vorausgesagter Anteil Unzufriedener). Diese aus empirischen Untersuchungen ermittelten Indizes werden aus den Kombinationen der Klimaparameter und dem Wärmedurchgang der Kleidung berechnet. Bei einem Wert für PMV = 0 wird das Raumklima in der Regel vom Menschen als thermisch neutral (behaglich) empfunden (siehe Tabelle 1 auf Seite 158). Die Berechnung dieser Werte erfolgt nach DIN EN ISO 7730 [6].

Tabelle 1:
Bewertung der Behaglichkeit mithilfe des PMV- und des PPD-Index

PMV	+3	+2	+1	+0,5	0	–0,5	–1	–2	–3
Empfinden	heiß	warm	etwas warm		neutral		etwas kühl	kühl	kalt
PPD in %	99	75	25	10	5	10	25	75	99

Es gibt keinen Zustand des Raumklimas, mit dem alle Personen zufrieden sind. Der minimale PPD-Index liegt daher bei 5 % Unzufriedenheit, d. h., 5 % der befragten Personen sind mit der Klimasituation unzufrieden. In einem informativen Anhang der Norm DIN EN ISO 7730 wird der PPD-Index in drei Stufen (A, B, C) von Unzufriedenheit mit 6 , 10 und 15 % eingeteilt. In der Regel sollte eine Unzufriedenheit von nicht mehr als 10 % angestrebt werden.

Der PMV- und der PPD-Index berücksichtigen den Einfluss des Raumklimas auf den gesamten Körper (mittleres Körperempfinden). Sind Teile des Körpers jedoch unterschiedlichen klimatischen Belastungen ausgesetzt, kann ein lokales Unbehagen auftreten, z. B. bei kalten oder zu warmen Fußböden. DIN EN ISO 7730 enthält Anforderungen an die lokale thermische Behaglichkeit. Die folgenden Empfehlungen entsprechen der Kategorie B:

Zugluft

Zugluft bewirkt eine unerwünschte lokale Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung. Ein Bewertungsmaßstab für das Empfinden von Zugluft in Abhängigkeit von der Raumtemperatur ist der sogenannte „Turbulenzgrad“ (siehe Abbildung 1). Je geringer der Turbulenzgrad, desto geringer ist das Zugempfinden durch die Raumluftströmung. In Räumen mit Mischstrom-Luftverteilung darf der Turbulenzgrad von 30 bis 60 % schwanken. In Räumen mit Verdrängungslüftung oder ohne maschinelle Lüftung darf er geringer sein.

Vertikaler Lufttemperaturunterschied

Die Differenz der Lufttemperatur zwischen Kopf und Füßen soll 3 °C nicht überschreiten („kühler Kopf und warme Füße“).

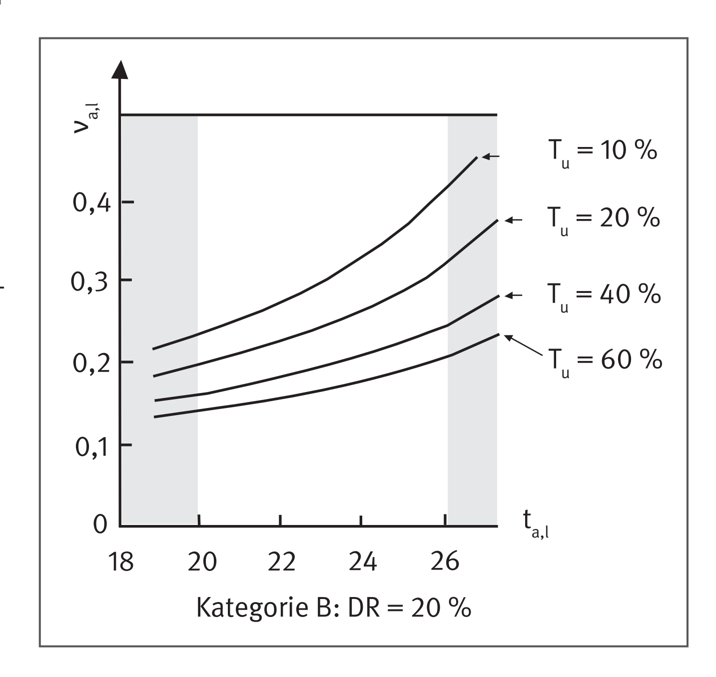
Fußbodentemperatur

Sowohl zu warme als auch zu kalte Fußböden werden als unbehaglich empfunden. Die Fußbodentemperatur soll zwischen 19 und 29 °C liegen.

Asymmetrie der Strahlungstemperatur

Differenzen bei den Temperaturen der Umschließungsflächen (z. B. kalte Fensterflächen, warme Decken) können zum lokalen Unbehagen führen. Die Temperaturdifferenz zwischen einer warmen Decke und dem Fußboden sollte maximal bei 5 °C liegen, diejenige zwischen einer kalten Wand und der gegenüberliegenden Wand maximal bei 10 °C.

Abbildung 1:
Höchstzulässige mittlere Luftgeschwindigkeit als Funktion der lokalen Lufttemperatur und des Turbulenzgrades [6]



$t_{a,l}$ *lokale Lufttemperatur in °C*
$n_{a,l}$ *lokale mittlere Luftgeschwindigkeit in m/s*
T_u *Intensität der Turbulenzen*

Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte hat bei gemäßigten Temperaturen von 20 bis 26 °C in der Regel nur einen geringen Einfluss auf das Temperaturempfinden (Behaglichkeit). Laut DIN EN 13779 [7], in der Auslegungskriterien für raumlufttechnische Anlagen beschrieben werden, entstehen in diesem Temperaturbereich in der Regel keine Probleme, wenn die relative Feuchte zwischen 30 und 70 % liegt. Entsprechend der Technischen Regel für Arbeitsstätten – Lüftung [8] soll beim Einsatz lüftungstechnischer Anlagen die relative Luftfeuchte die in Tabelle 2 genannten Werte nicht überschreiten.

Tabelle 2:
Empfohlene maximale relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Lufttemperatur [8]

Lufttemperatur in °C	relative Luftfeuchte in %
20	80
22	70
24	62
26	55

Liegen die Werte für die relative Luftfeuchte darüber, wird das Raumklima als schwül empfunden.

Es ist umstritten, inwieweit trockene Luft den Menschen nachhaltig in seiner Gesundheit, seinem Wohlbefinden und seiner Leistungsfähigkeit beeinträchtigt. Auch die landläufige Vorstellung, dass durch zu trockene Luft die Schleimhäute austrocknen und sich dadurch Krankheitserreger leichter ansiedeln können, ist nicht eindeutig bewiesen. So zeigten Laboruntersuchungen keine Veränderung der Schleimviskosität in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte [9]. Bei Beschwerden über zu trockene Luft ist zu berücksichtigen, dass die Ursache häufig in Staub oder anderen Verschmutzungen in der Luft zu suchen ist. Auch zu hohe Raumtemperaturen und/oder Außenluftvolumenströme können Auslöser sein.

Sofern die Luftfeuchte nicht über einen längeren Zeitraum in einen Bereich von 10 bis 20 % fällt, ist eine ständige Befeuchtung nicht ratsam, zumal die befeuchtete Luft zum Teil als stickig empfunden wird. Vielmehr sollte zunächst versucht werden, über eine Veränderung des Luftwechsels und eine niedrigere Temperatur die Luftqualität im Raum zu verbessern.

Operative Temperatur

Die Wirkung der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur wird in der Regel durch die operative Temperatur als Summenmaß beschrieben, die häufig verkürzt auch nur als Raumtemperatur bezeichnet wird. Die optimale operative Temperatur und den zulässigen Temperaturbereich als Funktion der Bekleidung und der Aktivität findet sich in [6].

3.1.3.2 Kältebereich

Zur Bewertung des Raumklimas im Kältebereich kann Teil 5 der DIN 33 403 [10] herangezogen werden. Er beschreibt vor allem die ergonomischen und organisatorischen Aspekte der Arbeit bei tiefen Raumtemperaturen. Dies ist sinnvoll, da diese Arbeitsbereiche meist technologisch bedingt tiefe Temperaturen aufweisen. Dazu zählen z. B. die Lebensmittelproduktion, einige Bereiche in Schlachthöfen sowie Kühl- und Gefrierhäuser. Die Maßnahmen, die hier getroffen werden können, zeigen vor allem in Richtung Persönliche Schutzausrüstung und Expositionszeitbegrenzung mit entsprechenden Aufwärmphasen.

3.1.3.3 Warmbereich

Zur Bewertung des Raumklimas im Warmbereich kann u. a. die Norm DIN EN 27243 [11] herangezogen werden. Mithilfe des einfachen Klimasummenmaßes WBGT-Index (WBGT, wet bulb globe temperature) wird die Erträglichkeit der Klimabelastung beurteilt. Dazu müssen in Räumen lediglich die natürliche Feuchttemperatur t_{nw} und die Globetemperatur t_g gemessen werden. Bei Einwirkung von Sonnenstrahlung ist zusätzlich die Lufttemperatur t_a zu bestimmen. Diese drei Temperaturen werden in einer einfachen Formel verknüpft:

Innerhalb und außerhalb von Gebäuden ohne direkte Wirkung von Sonneneinstrahlung gilt

$$WBGT = 0{,}7 \cdot t_{nw} + 0{,}3 \cdot t_g$$

Außerhalb von Gebäuden bei Einwirkung von Sonneneinstrahlung gilt

$$WBGT = 0{,}7 \cdot t_{nw} + 0{,}2 \cdot t_g + 0{,}1 \cdot t_a$$

Werden die in Tabelle 3 angegebenen Richtwerte überschritten, so müssen Maßnahmen getroffen werden, um die Wärmebelastung in geeigneter Weise zu senken. Dabei kommen als Maßnahmen z. B. eine Änderung der Schwere der körperlichen Tätigkeit oder eine Verkürzung der Expositionszeit infrage.

3.1.3.4 Hitzebereich

Eine einfache Bewertung für den Hitzebereich kann mithilfe der BGI 7002 „Beurteilung von Hitzearbeit“ [12] erfolgen. Anhand weniger Fragen kann die Belastung abgeschätzt werden.

Zur umfassenden Beurteilung des Klimas im Hitzebereich werden in DIN 33403-3 [13] verschiedene Klimasummenmaße vorgeschlagen. Neben dem WBGT-Index kann u. a. die Normal-Effektivtemperatur (NET) herangezogen werden. Da die NET die Wärmestrahlung nicht berücksichtigt, sind die in Tabelle 4 (siehe Seite 160) angegebenen Orientierungsbereiche allerdings nur gültig, wenn die Temperatur der umschließenden Flächen weitgehend identisch mit der Lufttemperatur ist.

Überschreiten die Belastungsgrößen die jeweiligen Grenzbereiche, so sind Maßnahmen zur Minderung der Belastung erforderlich (siehe BGI 579 „Hitzearbeit: Erkennen – beurteilen – schützen“) [14].

Tabelle 3:
Richtwerte für den WBGT-Index [11]

Energieumsatz in W/m²	**für akklimatisierte Beschäftigte**		**für nicht akklimatisierte Beschäftigte**	
M ≤ 65 65 < M ≤ 130 130 < M ≤ 200	33 30 28		32 29 26	
	Keine spürbare Luftbewegung	Spürbare Luftbewegung	Keine spürbare Luftbewegung	Spürbare Luftbewegung
200 < M ≤ 260 M > 260	25 23	26 25	22 18	23 20

Tabelle 4:
Orientierungsbereiche für Dauerexposition auf der Grundlage der Normal-Effektivtemperatur (NET) für akklimatisierte Personen [13]

Arbeitsenergieumsatz AU in W	Orientierungsbereich für NET in °C
AU ≤ 130	31 < NET ≤ 33
130 < AU ≤ 200	28 < NET ≤ 31
200 < AU ≤ 270	24 < NET ≤ 28
270 < AU ≤ 330	20 < NET ≤ 24
330 < AU ≤ 380	16 < NET ≤ 20
380 < AU ≤ 420	12 < NET ≤ 16
AU > 420	NET ≤ 16

Beschäftigte, die Hitzearbeiten durchführen, müssen laut Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) durch arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (Erstuntersuchungen vor Aufnahme der Beschäftigung und Nachuntersuchungen während der Beschäftigung) überwacht werden. Die Beurteilung, ob eine Untersuchung zu erfolgen hat, richtet sich nach der Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 „Hitze" [4]. Zur Beurteilung von Hitzearbeit nach BGI 504-30 werden neben dem Klimasummenmaß NET (siehe Tabelle 6) auch die Effektive Bestrahlungsstärke (siehe Tabelle 7) verwendet. Mit der Beurteilung wird festgestellt, ob die Voraussetzungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge erfüllt sind. Die muskuläre Belastung wird in leicht, mittelschwer und schwer bis sehr schwer unterteilt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5:
Einteilung des Arbeitsenergieumsatzes (AU) und des Gesamtenergieumsatzes (EU) nach Tätigkeitsarten [4]

Energieumsatz	Beispiele für Tätigkeiten
Stufe 0 **Ruhezustand** EU: 100 bis 125 W AU: 20 bis 45 W	Sitzen oder Stehen im Ruhezustand
Stufe 1 **Leicht: AU ca. 100 W** EU: etwa 125 bis 235 W AU: etwa 45 bis 155 W	• leichte Handarbeit: Schreiben, Schreibmaschine schreiben, Zeichnen, Nähen, Buchführung • Tätigkeiten mit Hand und Arm (kleine Handwerkzeuge, Inspektion, Zusammenbau oder Sortieren von leichten Gegenständen) • Tätigkeit mit Arm und Bein (Fahren eines Fahrzeuges unter üblichen Bedingungen, Betätigen eines Fußschalters oder Pedals) • Kontrollgänge, Kranführer aller Art, Fahrer von Flurförderzeugen, Elektriker für Steuer- und Regelanlagen, Tätigkeiten in Schaltwarten, Brenner in der keramischen Industrie
Stufe 2 **Mittelschwer: AU ca. 200 W** EU: etwa 235 bis 360 W AU: etwa 155 bis 240 W	• Ununterbrochene Hand- und Armarbeit (Einschlagen von Nägeln, Feilen) • Arm- und Beinarbeit (Fahren von Lkw, Traktoren oder Baufahrzeugen im Gelände) • Arm- und Körperarbeit (Arbeiten mit Presslufthammer, Zugmaschinen, Pflasterarbeiten, ununterbrochenes Handhaben von mittelschweren Materialien, Schieben und Ziehen von leichten Karren oder Schubkarren, Schmieden) • Anfänger an Glasöfen, Betriebsschlosser, Abbrechen von Glas mittels Brecher, Eisengießer mit Hebezeug, Vulkaniseur
Stufe 3 **Schwer: AU ca. 300 W** EU: etwa 360 bis 465 W AU: etwa 240 bis 385 W	• Intensive Arm- und Körperarbeit (Tragen von schwerem Material, Schaufeln, Arbeiten mit Vorschlaghammer, Sägen; Bearbeiten von hartem Holz mit Hobel oder Stechbeitel; Graben, Schieben oder Ziehen schwer beladener Handwagen oder Schubkarren; Zerschlagen von Gussstücken; Legen von Betonplatten) • Ein- und Aussetzen in der grobkeramischen Industrie, Ofenmaurer bei Heißreparaturen, Gemengeeinleger von Hand in Glashütten, Schmelzer, Eisengießer (Handguss), Handflämmer
Stufe 4 **Sehr schwer: AU > 300 W** EU: ab etwa 465 W AU: ab etwa 385 W	• Sehr intensive Arm- und Körperarbeit mit hohem Arbeitstempo (Arbeiten mit der Axt, intensives Schaufeln oder Graben, Besteigen von Treppen, Rampen oder Leitern, schnelles Gehen mit kleinen Schritten)

Tabelle 6:
Richtwerte der NET in °C zur Einstufung von Hitzearbeit in Abhängigkeit von der Expositionszeit [4]

Arbeitsenergieumsatz in W	ununterbrochene Expositionszeit in min			
	< 15	**15 bis 30**	**31 bis 60**	**> 60**
Gruppe 1	ständig exponierte, hitzeadaptierte Beschäftigte			
Stufe 1: 100	—	> 36	36	34
Stufe 2: 200	—	36	34	32
Stufe 3: 300	—	34	32	30
Stufe 4: > 300	35	32	30	(entfällt)
Gruppe 2	gelegentlich exponierte, nicht hitzeadaptierte Beschäftigte			
Stufe 1: 100	—	> 36	34	(entfällt)
Stufe 2: 200	—	34	32	(entfällt)
Stufe 3: 300	35	32	30	(entfällt)
Stufe 4: > 300	35	30	28	(entfällt)

Tabelle 7:
Richtwerte der effektiven Bestrahlungsstärke in W/m² zur Einstufung von Hitzearbeit in Abhängigkeit von der Expositionszeit [4]

Arbeitsenergieumsatz in W	ununterbrochene Expositionszeit in min			
	< 15	15 bis 30	31 bis 60	> 60
Gruppe 1	ständig exponierte, hitzeadaptierte Beschäftigte			
Stufe 1: 100	1 000	750	500	300
Stufe 2: 200	750	500	300	200
Stufe 3: 300	500	300	200	100
Stufe 4: > 300	250	200	100	(entfällt)
Gruppe 2	gelegentlich exponierte, nicht hitzeadaptierte Beschäftigte			
Stufe 1: 100	1000	500	300	(entfällt)
Stufe 2: 200	750	300	200	(entfällt)
Stufe 3: 300	500	200	100	(entfällt)
Stufe 4: > 300	250	100	35	(entfällt)

3.1.4 Literatur

[1] DIN Fachbericht 128: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Grundlagen der Klimaermittlung. Beuth, Berlin 2003

[2] DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen (04.02). Beuth, Berlin 2002

[3] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 21 „Kältearbeiten" (BGI 504-21) (1998). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 1998

[4] Information: Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 „Hitze" (BGI/GUV-I 504-30). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2010

[5] Information: Gesund und fit im Kleinbetrieb – Beurteilung des Raumklimas (BGI/GUV-I 7003). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2010

[6] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (05.06). Beuth, Berlin 2006

[7] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme (09.07). Beuth, Berlin 2007

[8] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR 3.6). GMBl. (2012) Nr. 6, S. 92

[9] *von Hahn, N.:* „Trockene Luft" und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe Reinhalt. Luft 67 (2007) Nr. 3, S. 103-107

[10] DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung. Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (01.97). Beuth, Berlin 1997

[11] DIN EN 27243: Warmes Umgebungsklima – Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (12.93). Beuth, Berlin 1993

[12] Information: Beurteilung von Hitzearbeit (BGI/GUV-I 7002) (06.11). Hrsg.: DGUV, Sankt Augustin 2011

[13] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung. Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße (07.11). Beuth, Berlin 2011

[14] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Hitzearbeit – erkennen, beurteilen, schützen (BGI 579) (11.08). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2008

Weiterführende Literatur

Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperaturen (ASR A3.5). GMBl. (2010) Nr. 35, S. 751

DIN EN ISO 11399: Ergonomie des Umgebungsklimas – Grundlagen und Anwendung relevanter Internationaler Normen (04.01). Beuth, Berlin 2001

DIN EN ISO 15265: Ergonomie der thermischen Umgebung – Strategie zur Risikobeurteilung zur Abwendung von Stress oder Unbehagen unter thermischen Arbeitsbedingungen (11.04). Beuth, Berlin 2004

Rietschel, H.; Esdorn, H. (Hrsg.): Raumklimatechnik. Band 1, Springer-Verlag Berlin 994

Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenbourg Verlag München, Wien 2008

3.2 Berührungen heißer Oberflächen

3.2.1 Erläuterungen

Beim Berühren einer heißen Oberfläche kann es zur Verbrennung der Haut kommen. Ob eine Verbrennung auftritt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten sind

- die Temperatur der Oberfläche,
- das Material der Oberfläche und
- die Dauer des Kontaktes zwischen der Oberfläche und der Haut.

Schwellenwerte der Oberflächentemperatur, ab der eine Verbrennung auftritt, wurden vom IFA für verschiedene Materialien und für verschiedene Kontaktzeiten ermittelt. Sie können der Norm DIN EN ISO 13732-1 [1] entnommen werden.

3.2.2 Grenzwerte

Eine rechtsverbindliche Festlegung von höchstzulässigen Temperaturen heißer Oberflächen zum Schutz vor Verbrennungen erfolgte bisher nur in einzelnen Bereichen. Zur Umsetzung der EU-Maschinenrichtlinie [2] im Hinblick auf Gefährdungen durch heiße Oberflächen (Nr. 1.5.5 des Anhangs I der Richtlinie) wurde die Norm DIN EN ISO 13732-1 in die Liste der harmonisierten Normen [3] aufgenommen. Ihre Anwendung löst daher die Vermutung der Konformität mit der Richtlinie aus.

Darüber hinaus gibt es in einer Reihe von Produktnormen Festlegungen für maximal zulässige Oberflächentemperaturen. Teils dienen diese Festlegungen zum Schutz vor Verbrennungen bei der Berührung, zum Teil aber auch zum Schutz der Materialien vor thermischen Schäden. Liegen diese Oberflächentemperaturen über den Werten der Verbrennungsschwellen nach DIN EN ISO 13732-1, dann schützen sie nicht vor Verbrennungen der Haut.

Eine zur Umsetzung der Betriebssicherheitsverordnung geplante Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) „Thermische Gefährdungen“ wurde mit dem Hinweis auf die Existenz der DIN EN ISO 13732-1 zurückgezogen. Sie wird nicht veröffentlicht werden.

3.2.3 Empfehlungen

Die Schwellenwerte nach DIN EN ISO 13732-1 für die Verbrennung der Haut sind gleichzeitig auch Empfehlungen für Oberflächentemperatur-Grenzwerte, sofern zur Vermeidung von Verbrennungen eine Begrenzung der Oberflächentemperatur notwendig ist. Der Norm ist zu entnehmen, wie solche Grenzwerte für verschiedene Oberflächen und verschiedene Berührungssituationen festgelegt werden können.

Aufgrund des Umfangs können die Verbrennungsschwellen hier nicht abgedruckt werden. Es wird auf DIN EN ISO 13732-1 [1] verwiesen.

3.2.4 Literatur

[1] DIN EN ISO 13732-1: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsverfahren für menschliche Reaktionen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 1: Heiße Oberflächen (ISO 13732-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 13732-1:2008

[2] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (Text für Bedeutung für den EWR), ABl. EU (2006) Nr. L 157, S 24-86

[3] 2009/C 214/01: Mitteilung der Kommission im Rahmen der Durchführung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (1) (Veröffentlichung der Titel und der Bezugsdaten der harmonisierten Normen im Sinne dieser Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union, C 214, 52. Jahrgang, 8. September 2009

3.3 Berührungen kalter Oberflächen

3.3.1 Erläuterungen

Bei der Berührung einer kalten Oberfläche kann es zu Schmerzen, Taubheitsgefühl und Erfrierungen der Haut kommen. Ob eine Kälteschädigung auftritt und welcher Art sie ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie

- Oberflächeneigenschaften des berührten Gegenstandes,
- Temperatur der kalten Oberfläche und der Umgebung,
- Dauer des Kontaktes zwischen der Haut und der Oberfläche,
- Merkmale der Haut und Art des Kontakts.

Schwellenwerte der Oberflächentemperatur, ab der eine Kälteschädigung auftritt, wurden für verschiedene Materialien, für verschiedene Kontaktzeiten und für verschiedene Arten von Schädigungen ermittelt. Sie können der Norm DIN EN ISO 13732-3 [1] entnommen werden.

3.3.2 Grenzwerte

Eine für alle Bereiche rechtsverbindliche Festlegung von niedrigstzulässigen Temperaturen kalter Oberflächen zum Schutz vor Kälteschädigungen erfolgte bisher nicht. Im Bereich der Maschinensicherheit wurde zur Umsetzung der EU-Maschinenrichtlinie [2] im Hinblick auf Gefährdungen durch kalte Oberflächen (Nr. 1.5.5 des Anhangs I der Richtlinie) die Norm DIN EN ISO 13732-3 in die Liste der harmonisierten Normen [3] aufgenommen. Ihre Anwendung löst daher die Vermutung der Konformität mit der Richtlinie aus.

Eine zur Umsetzung der Betriebssicherheitsverordnung geplante Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) „Thermische Gefährdungen“ wurde mit dem Hinweis auf die Existenz der DIN EN ISO 13732-3 [1] zurückgezogen. Sie wird nicht veröffentlicht werden.

3.3.3 Empfehlungen

Die Schwellenwerte nach DIN EN ISO 13732-3 von Oberflächentemperaturen für Kälteschädigungen sind gleichzeitig Empfehlungen für Oberflächentemperatur-Grenzwerte, sofern zur Vermeidung von Kälteschädigungen eine Begrenzung von niedrigen Oberflächentemperaturen notwendig ist. Der Norm ist zu entnehmen, wie solche Grenzwerte für verschiedene Oberflächeneigenschaften, Berührungssituationen und mögliche Kälteschädigungen festgelegt werden können.

Aufgrund des Umfangs können die Verbrennungsschwellen hier nicht abgedruckt werden. Es wird auf DIN EN ISO 13732-3 [1] verwiesen.

3.3.4 Literatur

[1] DIN EN ISO 13732-3: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsmethoden für Reaktionen des Menschen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 3: Kalte Oberflächen (ISO 13732-3:2005), Deutsche Fassung EN ISO 13732-3:2008

[2] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (Text für Bedeutung für den EWR), ABl. EU (2006) Nr. L 157/24 vom 9. Juni 2006

[3] 2009/C 214/01: Mitteilung der Kommission im Rahmen der Durchführung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (1) (Veröffentlichung der Titel und der Bezugsdaten der harmonisierten Normen im Sinne dieser Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union, C 214, 52. Jahrgang, 8. September 2009

4 Strahlung

4.1 Ionisierende Strahlung

4.1.1 Erläuterungen

Unter ionisierende Strahlung fallen sowohl elektromagnetische Wellen wie Röntgen- oder Gammastrahlung als auch Teilchenstrahlung (Alpha-, Beta-, Neutronenstrahlung usw.) mit einer Wellenlänge von unter 100 nm bzw. einer Teilchen-/Quantenenergie von mehr als 12 eV.

Die Einwirkung ionisierender Strahlung auf Menschen kann in hohen Dosen akute Strahlenschäden (Hautverbrennung, Organschäden, Strahlenkrankheit, Tod) hervorrufen. Aber auch durch langzeitige Einwirkung niedriger Strahlendosen können Schäden hervorgerufen werden: Hierzu gehören Krebs (Karzinome, Leukämie) sowie genetische Schäden.

Für die berufliche Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung sind in der Röntgenverordnung [1] und in der Strahlenschutzverordnung [2] die gleichen Expositionsgrenzwerte festgelegt. Diese gelten einerseits für die Exposition durch äußere Bestrahlung und andererseits auch für die Exposition, die durch innere Bestrahlung bei der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper entsteht. Wirkt sowohl äußere als auch innere Bestrahlung durch Aufnahme radioaktiver Stoffe ein, sind beide Einwirkungen zu berücksichtigen und der Dosisgrenzwert ist insgesamt einzuhalten. Dabei ist die Dosis durch innere Bestrahlung aus der zugeführten Aktivität und den nuklidspezifischen Dosiskoeffizienten [3] zu berechnen.

Die Strahlenschutzverordnung enthält je nach Art der Exposition verschiedene Bestimmungen. Grob unterschieden wird dabei in „Tätigkeiten“, bei denen Expositionen durch eine zielgerichtete Nutzung der Radioaktivität vorliegen können, und „Arbeiten“, die, ohne Tätigkeiten zu sein, zu Expositionen durch natürliche Strahlenquellen führen können. Zum Bereich der Arbeiten gehören bestimmte in Anlage XI der Strahlenschutzverordnung genannte Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlenquellen auftreten können. Auch Expositionen des fliegenden Personals durch kosmische Strahlung in Flugzeugen fällt in den Bereich der Arbeiten. Die Unterteilung der Exposition in Tätigkeiten und Arbeiten hat Auswirkungen auf die Anwendung der Expositionsgrenzwerte.

4.1.2 Grenzwerte

Hinweis: Die Hinweise auf Anlagen, Tabellen und Paragrafen in diesem Kapitel beziehen sich auf die jeweilige Nummerierung in der Strahlenschutzverordnung.

In der Röntgenverordnung (RöV) [1] und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] sind je nach exponierter Personengruppe unterschiedliche Grenzwerte festgelegt. Bei den Personengruppen wird unterschieden in:

- beruflich strahlenexponierte Personen (Kategorien A und B)

  Eine beruflich strahlenexponierte Person im Sinne der Strahlenschutzverordnung ist

  – im Bereich der Tätigkeiten diejenige der Kategorie A oder B des § 54. Zur Kategorie A gehören demnach Personen, die im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert (mSv) erhalten können. Personen, die im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv erhalten können, ohne in die Kategorie A zu fallen, gehören zur Kategorie B.

  – im Bereich der Arbeiten diejenige, für die die Abschätzung nach § 95 Abs. 1 ergeben hat, dass die effektive Dosis im Kalenderjahr 6 mSv überschreiten kann, oder für die die Ermittlung nach § 103 Abs. 1 ergeben hat, dass die effektive Dosis im Kalenderjahr 1 mSv überschreiten kann.

- Einzelpersonen der Bevölkerung

  Hierzu gehören Mitglieder der Allgemeinbevölkerung, die weder beruflich strahlenexponierte Personen sind noch medizinisch oder als helfende Person exponiert sind.

- Besonders schutzbedürftige Personen wie Schwangere und Jugendliche

An Arbeitsplätzen gültige Grenzwerte der Strahlenexposition sind in folgenden Paragrafen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV) zu finden:

- RöV
  §§ 31a bis 31c, 32

- StrlSchV
  bei Tätigkeiten: §§ 46, 55 bis 59
  bei Arbeiten gemäß Anlage XI (terrestrische Strahlung): § 95
  bei Arbeiten des fliegenden Personals (kosmische Strahlung): § 103

Da die Grenzwerte in der Röntgenverordnung identisch sind mit denen, die in der Strahlenschutzverordnung für Tätigkeiten genannt sind, werden im Folgenden nur die Grenzwerte nach der Strahlenschutzverordnung wiedergegeben.

Für die Strahlenexposition bei Tätigkeiten gelten die Grenzwerte nach §§ 46 und 55 bis 59 StrlSchV.

§ 46
Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung

(1) Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.

(2) Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.

(3) Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgeben-

den Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

§ 55
Schutz bei beruflicher Strahlenexposition

(1) Für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr. § 58 bleibt unberührt. Die zuständige Behörde kann im Einzelfall für ein einzelnes Jahr eine effektive Dosis von 50 Millisievert zulassen, wobei für fünf aufeinander folgende Jahre 100 Millisievert nicht überschritten werden dürfen.

(2) Der Grenzwert der Organdosis beträgt für beruflich strahlenexponierte Personen

1. *für die Augenlinse 150 Millisievert,*
2. *für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 500 Millisievert,*
3. *für die Keimdrüsen, die Gebärmutter und das Knochenmark (rot) jeweils 50 Millisievert,*
4. *für die Schilddrüse und die Knochenoberfläche jeweils 300 Millisievert,*
5. *für den Dickdarm, die Lunge, den Magen, die Blase, die Brust, die Leber, die Speiseröhre, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1, soweit nicht unter Nummer 3 genannt, jeweils 150 Millisievert*

im Kalenderjahr.

(3) Für Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 1 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 15 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 50 Millisievert im Kalenderjahr. Abweichend von den Sätzen 1 und 2 kann die zuständige Behörde für Auszubildende und Studierende im Alter zwischen 16 und 18 Jahren einen Grenzwert von 6 Millisievert für die effektive Dosis, 45 Millisievert für die Organdosis der Augenlinse und jeweils 150 Millisievert für die Organdosis der Haut, der Hände, der Unterarme, der Füße und Knöchel im Kalenderjahr festlegen, wenn dies zur Erreichung des Ausbildungszieles notwendig ist.

(4) Bei gebärfähigen Frauen beträgt der Grenzwert für die über einen Monat kumulierte Dosis an der Gebärmutter 2 Millisievert. Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung der Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

§ 56
Berufslebensdosis

Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

§ 57
Dosisbegrenzung bei Überschreitung

Wurde unter Verstoß gegen § 55 Abs. 1 oder 2 ein Grenzwert im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des jeweiligen Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bisherige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die zuständige Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

§ 58
Besonders zugelassene Strahlenexpositionen

(1) Unter außergewöhnlichen, im Einzelfall zu beurteilenden Umständen kann die zuständige Behörde zur Durchführung notwendiger spezifischer Arbeitsvorgänge Strahlenexpositionen abweichend von § 55 Abs. 1, 2 und 4 Satz 1 zulassen. Für diese besonders zugelassene Strahlenexposition beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 100 Millisievert, der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 300 Millisievert, der Grenzwert der Organdosis für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 1 Sievert für eine Person im Berufsleben.

(2) Einer Strahlenexposition nach Absatz 1 dürfen nur Freiwillige, die beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A sind, ausgesetzt werden, ausgenommen schwangere Frauen und, wenn die Möglichkeit einer Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann, stillende Frauen.

(3) Eine Strahlenexposition nach Absatz 1 ist im Voraus zu rechtfertigen. Die Personen nach Absatz 2 sind über das mit der Strahlenexposition verbundene Strahlenrisiko aufzuklären. Der Betriebsrat oder der Personalrat, die Fachkräfte für Arbeitssicherheit, der Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 oder die Betriebsärzte, soweit sie nicht Ärzte nach § 64 Abs. 1 Satz 1 sind, sind zu beteiligen.

(4) Die Körperdosis durch eine Strahlenexposition nach Absatz 1 ist unter Berücksichtigung der Expositionsbedingungen zu ermitteln. Sie ist in den Aufzeichnungen nach §§ 42 und 64 Abs. 3 getrennt von den übrigen Ergebnissen der Messungen und Ermittlungen der Körperdosis einzutragen. Die Strahlenexposition nach Absatz 1 ist bei der

Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen nach § 56 zu berücksichtigen.

(5) Wurden bei einer Strahlenexposition nach Absatz 1 die Grenzwerte des § 55 Abs. 1 oder 2 überschritten, so ist diese Überschreitung allein kein Grund, die Person ohne ihr Einverständnis von ihrer bisherigen Beschäftigung auszuschließen.

§ 59
Strahlenexposition bei Personengefährdung und Hilfeleistung

(1) Bei Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für Personen ist anzustreben, dass eine effektive Dosis von mehr als 100 Millisievert nur einmal im Kalenderjahr und eine effektive Dosis von mehr als 250 Millisievert nur einmal im Leben auftritt.

(2) Die Rettungsmaßnahmen dürfen nur von Freiwilligen über 18 Jahren ausgeführt werden, die zuvor über die Gefahren dieser Maßnahmen unterrichtet worden sind. Es ist dafür zu sorgen, dass schwangere Frauen nicht bei Rettungsmaßnahmen eingesetzt werden.

(3) Die Körperdosis einer bei Rettungsmaßnahmen eingesetzten Person durch eine Strahlenexposition bei den Rettungsmaßnahmen ist unter Berücksichtigung der Expositionsbedingungen zu ermitteln. Die Rettungsmaßnahme und die ermittelte Körperdosis der bei der Rettungsmaßnahme eingesetzten Personen sind der zuständigen Behörde unverzüglich mitzuteilen. Die Strahlenexposition nach Satz 1 ist bei der Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen nach § 56 zu berücksichtigen. § 58 Abs. 4 Satz 2 und Abs. 5 gilt entsprechend.

§ 95
Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen

(1) Wer in seiner Betriebsstätte eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in Anlage XI genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, hat je nach Zugehörigkeit des Arbeitsfeldes zu Teil A oder B der Anlage XI innerhalb von sechs Monaten nach Beginn der Arbeiten eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Radon-222-Exposition, der potenziellen Alphaenergie-Exposition oder der Körperdosis durchzuführen. Die Abschätzung ist unverzüglich zu wiederholen, wenn der Arbeitsplatz so verändert wird, dass eine höhere Strahlenexposition auftreten kann. Satz 1 gilt auch für denjenigen, der in einer fremden Betriebsstätte in eigener Verantwortung Arbeiten nach Satz 1 ausübt oder unter seiner Aufsicht stehende Personen Arbeiten ausüben lässt. In diesem Fall hat der nach Satz 1 Verpflichtete ihm vorliegende Abschätzungen für den Arbeitsplatz bereitzustellen.

(2) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat der zuständigen Behörde innerhalb von drei Monaten nach Durchführung der Abschätzung nach Absatz 1 Anzeige gemäß Satz 2 zu erstatten, wenn die Abschätzung nach Absatz 1 ergibt, dass die effektive Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr überschreiten kann. Aus der Anzeige müssen die konkrete Art der Arbeit, das betreffende Arbeitsfeld oder die betreffenden Arbeitsfelder, die Anzahl der betroffenen Personen, die eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr erhalten können, die nach Absatz 10 Satz 1 vorgesehene Ermittlung und die nach § 94 vorgesehenen Maßnahmen hervorgehen. Bei Radonexpositionen ist Absatz 13 zu beachten.

(3) Der nach Absatz 1 Satz 3 Verpflichtete hat dafür zu sorgen, dass er selbst und die unter seiner Aufsicht stehenden Personen in fremden Betriebsstätten anzeigebedürftige Arbeiten nur ausüben, wenn jede Person im Besitz eines vollständig geführten, bei der zuständigen Behörde regis-trierten Strahlenpasses ist.

(4) Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 150 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 500 Millisievert.

(5) Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

Anlage XI:
Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlungsquellen auftreten können

Teil A: Arbeitsfelder mit erhöhten Radon-222-Expositionen Arbeiten in 1. untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken 2. Radon-Heilbäder und -Heilstollen 3. Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung
Teil B: Arbeitsfelder mit erhöhten Expositionen durch Uran und Thorium und deren Zerfallsprodukte 1. Schleifen von und Wechselstromschweißen mit thorierten Schweißelektroden 2. Handhabung und Lagerung thorierter Gasglühstrümpfe 3. Verwendung von Thorium oder Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung einschließlich der daraus jeweils hervorgehenden Tochternuklide, sofern vorhanden, zu chemisch-analytischen oder chemisch-präparativen Zwecken 4. Handhabung, insbesondere Montage, Demontage, Bearbeiten und Untersuchen von Produkten aus thorierten Legierungen 5. Gewinnung, Verwendung und Verarbeitung von Pyrochlorerzen 6. Verwendung und Verarbeitung von Schlacke aus der Verhüttung von Kupferschiefererzen

(6) Wurde unter Verstoß gegen Absatz 4 Satz 1 oder 2 ein Grenzwert im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des jeweiligen Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bis herige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

(7) Für Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 50 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 150 Millisievert im Kalenderjahr.

(8) Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung seiner Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert für die Summe der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

(9) Sobald eine Frau, die eine anzeigebedürftige Arbeit nach Anlage XI Teil B ausübt, den nach Absatz 1 Verpflichteten darüber informiert hat, dass sie schwanger ist oder stillt, hat er ihre Arbeitsbedingungen so zu gestalten, dass eine innere berufliche Strahlenexposition ausgeschlossen ist.

(10) Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, hat der nach Absatz 1 Verpflichtete die Radon-222-Exposition oder potenzielle Alphaenergie-Exposition und die Körperdosis auf geeignete Weise durch Messung der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung, der Konzentration radioaktiver Stoffe oder Gase in der Luft, der Kontamination des Arbeitsplatzes, der Personendosis, der Körperaktivität oder der Aktivität der Ausscheidung nach Maßgabe des Satzes 3 zu ermitteln. Die Radon-222-Exposition und die potenzielle Alphaenergie-Exposition können auch durch direkte Messung ermittelt werden. Die Ermittlungsergebnisse müssen spätestens neun Monate nach erfolgter Strahlenexposition der die anzeigebedürftige Arbeit ausführenden Person vorliegen. Für die Messungen kann die zuständige Behörde die anzuwendenden Messmethoden und Messverfahren festlegen und für Messungen Messstellen bestimmen. § 41 Abs. 8 gilt entsprechend. Die zuständige Behörde kann bei unterbliebener oder fehlerhafter Ermittlung eine Ersatzdosis festlegen.

(11) Der nach Absatz 1 Verpflichtete darf Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, eine Beschäftigung oder Weiterbeschäftigung nur erlauben, wenn sie innerhalb des jeweiligen Kalenderjahrs von einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 untersucht worden sind und dem nach Absatz 1 Verpflichteten eine von diesem Arzt ausgestellte Bescheinigung vorliegt, nach der der Beschäftigung keine gesundheitlichen Bedenken entgegenstehen. Satz 1 gilt entsprechend für Personen, die in eigener Verantwortung in eigener oder in einer anderen Betriebsstätte Arbeiten ausüben. § 60 Abs. 3 und die §§ 61 und 62 gelten entsprechend. Die in entsprechender Anwendung des § 61 Abs. 1 Satz 1 angeforderten Unterlagen sind dem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 unverzüglich zu übergeben. Der Arzt hat die ärztliche Bescheinigung dem Verpflichteten nach Absatz 1 Satz 1, der beruflich strahlenexponierten Person und, soweit gesundheitliche Bedenken bestehen, auch der zuständigen Behörde unverzüglich zu übersenden.

(12) Bei einer Arbeit nach Absatz 1, die zu einer effektiven Dosis von weniger als 6 Millisievert im Kalenderjahr führt, kann die Pflicht nach § 94 auch dadurch erfüllt werden, dass Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes Anwendung finden. Die zuständige Behörde kann entsprechende Nachweise verlangen.

(13) Für die Umrechnung der Radon-222-Exposition in die effektive Dosis kann davon ausgegangen werden, dass eine Radon-222-Exposition von 0,32 Megabecquerel je Kubikmeter mal Stunde einer effektiven Dosis von 1 Millisievert entspricht. Bei deutlichen Abweichungen des Gleichgewichtsfaktors zwischen Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten vom zugrunde gelegten Wert von 0,4 kann die zuständige Behörde abweichende Umrechnungsfaktoren festlegen. Für die Umrechnung der potenziellen Alphaenergie-Exposition in die effektive Dosis gilt, dass eine potenzielle Alphaenergie-Exposition von 0,71 Millijoule je Kubikmeter mal Stunde einer effektiven Dosis von 1 Millisievert entspricht.

Für die Strahlenexposition bei Arbeiten des fliegenden Personals (kosmische Strahlung) gelten die in § 103 StrlSchV enthaltenen Grenzwerte:

§ 103
Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung

(1) Wer Flugzeuge, die in der deutschen Luftfahrzeugrolle nach § 3 des Luftverkehrsgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999 (BGBl. I S. 550) in der jeweils geltenden Fassung eingetragen sind, gewerblich oder im Rahmen eines wirtschaftlichen Unternehmens betreibt, oder wer als Unternehmer mit Sitz im Geltungsbereich dieser Verordnung Flugzeuge betreibt, die in einem anderen Land registriert sind, und Personal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß dem deutschen Arbeitsrecht steht, einsetzt, hat die effektive Dosis, die das fliegende Personal durch kosmische Strahlung während des Fluges einschließlich der Beförderungszeit nach § 4 Abs. 1 Satz 1 der Zweiten Durchführungsverordnung zur Betriebsordnung für Luftfahrtgerät vom 12. November 1974 (BGBl. I, S. 3181), die zuletzt durch die Verordnung vom 6. Januar 1999 (BAnz. S. 497) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung erhält, nach Maßgabe des Satzes 2 zu ermitteln, soweit die effektive Dosis durch kosmische Strahlung 1 Millisievert im Kalenderjahr überschreiten kann. Die Ermittlungsergebnisse müssen spätestens sechs Monate nach dem Einsatz vorliegen. Die Sätze 1 und 2 gelten auch für Flugzeuge, die im Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung betrieben werden.

(2) Für das fliegende Personal beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch kosmische Strahlung 20 Millisievert im Kalenderjahr. Der Pflicht zur Dosisreduzierung nach § 94 kann insbesondere bei der Aufstellung der Arbeitspläne und bei der Festlegung der Flugrouten und -profile Rechnung getragen werden.

(3) Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

(4) Wurde unter Verstoß gegen Absatz 2 Satz 1 der Grenzwert der effektiven Dosis im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bisherige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die zuständige Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

(5) Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung seiner Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der Dosis aus äußerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

(6) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat das fliegende Personal mindestens einmal im Kalenderjahr über die gesundheitlichen Auswirkungen der kosmischen Strahlung und über die zum Zweck der Überwachung von Dosisgrenzwerten und der Beachtung der Strahlenschutzgrundsätze erfolgende Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten zu unterrichten; hierbei sind Frauen darüber zu unterrichten, dass eine Schwangerschaft im Hinblick auf die Risiken einer Strahlenexposition für das ungeborene Kind so früh wie möglich mitzuteilen ist. Die Unterrichtung kann Bestandteil erforderlicher Unterweisungen nach anderen Vorschriften sein. Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat über den Inhalt und Zeitpunkt der Unterrichtung Aufzeichnungen zu führen, die von der unterrichteten Person zu unterzeichnen sind. Er hat die Aufzeichnungen fünf Jahre lang nach der Unterrichtung aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.

(7) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat

1. die Ergebnisse der Dosisermittlung nach Absatz 1 unverzüglich aufzuzeichnen,

2. die Aufzeichnungen nach Nummer 1

a) so lange aufzubewahren, bis die überwachte Person das 75. Lebensjahr vollendet hat oder vollendet hätte, mindestens jedoch 30 Jahre nach Beendigung der jeweiligen Beschäftigung,

b) spätestens 95 Jahre nach der Geburt der betroffenen Person zu löschen,

c) auf Verlangen der überwachten Person oder der zuständigen Behörde vorzulegen oder bei einer von dieser Behörde zu bestimmenden Stelle zu hinterlegen,

d) bei einem Wechsel des Beschäftigungsverhältnisses dem neuen Arbeitgeber auf Verlangen zur Kenntnis zu geben, falls weiterhin eine Beschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person ausgeübt wird,

3. Überschreitungen des Grenzwertes der effektiven Dosis nach Absatz 2 Satz 1 der zuständigen Behörde unter Angabe der Gründe, der betroffenen Personen und der ermittelten Dosen unverzüglich mitzuteilen,

4. den betroffenen Personen im Fall der Nummer 3 die effektive Dosis unverzüglich mitzuteilen.

(8) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat die ermittelte effektive Dosis und die in § 112 Abs. 1 Nr. 2 und 3 genannten Angaben dem Luftfahrt-Bundesamt oder einer vom Luftfahrt-Bundesamt bestimmten Stelle zur Weiterleitung an das Strahlenschutzregister mindestens halbjährlich zu übermitteln. Auskünfte aus dem Strahlenschutzregister werden dem nach Absatz 1 Verpflichteten erteilt, soweit es für die Wahrnehmung seiner Aufgaben erforderlich ist. § 112 Abs. 4 Satz 1 Nr. 1 und 3 und Satz 2 findet Anwendung.

(9) Der nach Absatz 1 Verpflichtete darf Personen, bei denen die Ermittlung nach Absatz 1 ergeben hat, dass eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr überschritten werden kann, eine Beschäftigung oder Weiterbeschäftigung nur erlauben, wenn sie innerhalb des jeweiligen Kalenderjahrs von einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 untersucht worden sind und dem gemäß Absatz 1 Verpflichteten eine von diesem Arzt ausgestellte Bescheinigung vorliegt, nach der der Beschäftigung keine gesundheitlichen Bedenken entgegenstehen. Die in entsprechender Anwendung des § 61 Abs. 1 Satz 1 angeforderten Unterlagen sind dem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 unverzüglich zu übergeben. Der Arzt hat die ärztliche Bescheinigung dem Verpflichteten nach Absatz 1 Satz 1, der beruflich strahlenexponierten Person und, soweit gesundheitliche Bedenken bestehen, auch der zuständigen Behörde unverzüglich zu übersenden. Die Untersuchung kann im Rahmen der fliegerärztlichen Untersuchung erfolgen.

4.1.3 Literatur

[1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I, S. 114) in der Fassung vom 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000) geändert worden ist

[2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I, S. 1714; 2002 I, S. 1459), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist

[3] Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten, Bundesanzeiger Nr. 160 a und b vom 28. August 2001

4.2 Inkohärente optische Strahlung (ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung)

4.2.1 Erläuterungen

Optische Strahlung ist eine elektromagnetische Wellenstrahlung. Eine Unterteilung der optischen Strahlung ergibt sich aufgrund der Wellenlänge λ in:

Ultraviolettstrahlung:	100 nm < λ < 400 nm
Sichtbare Strahlung:	400 nm < λ < 780 nm
Infrarotstrahlung:	780 nm < λ < 1 mm

Eine weitere Einteilung unterscheidet optische Strahlung nach ihrer Kohärenzeigenschaft in:

- Laserstrahlung, d.h. kohärente optische Strahlung
- inkohärente optische Strahlung

Bei der Einwirkung optischer Strahlung auf Personen kann es je nach der Art der Strahlung, der Strahlungsintensität und der Einwirkungsdauer zu unterschiedlichen Schädigungen kommen. Dies wird nachfolgend bei jeder Strahlungsart behandelt.

Grenzwerte für inkohärente und kohärente optische Strahlung sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [1] festgelegt. Sie wurde 2010 durch die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV [2] in nationales Recht umgesetzt. Die Grenzwerte der EU-Richtlinie werden über die Verordnung in Deutschland rechtsverbindlich. Die bisher verwendete BG-Information BGI 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ [3] enthält allerdings wichtige Informationen zur Anwendung der Grenzwerte und kann in Zweifelsfällen zurate gezogen werden bis Technische Regeln zur OstrV erscheinen.

4.2.2 Ultraviolette Strahlung

4.2.2.1 Wirkungen

Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) ist elektromagnetische Wellenstrahlung mit Wellenlängen zwischen 100 nm und 400 nm. Die Einwirkung von ultravioletter Strahlung auf den Menschen kann zu Schädigungen des Auges und der Haut führen. Eine kurzfristige Einwirkung sehr hoher Intensität kann im Auge eine Bindehaut- und Hornhautentzündung und auf der Haut ein Erythem (Sonnenbrand) hervorrufen. Eine langfristige, chronische UV-Einwirkung kann im Auge eine Linsentrübung verursachen sowie eine Alterung der Haut und das Entstehen von Hautkrebs bewirken.

4.2.2.2 Grenzwerte

Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte wurden der Richtlinie 2006/25/EG [1] entnommen. Die Richtlinie enthält einen Grenzwert zum Schutz von Augen und Haut vor kurz- und langfristigen Schäden durch UV-Strahlung sowie einen Grenzwert für starke UV-A-Strahlenexpositionen zum Schutz der Augen vor langfristigen Schäden. Bei der Ermittlung der Strahlenexpositionen, die mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden sollen, sind für die Definition der Messgrößen die Basis-Berechnungsformeln (a) und (b) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG anzuwenden.

Expositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Augen und die Haut im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm

Aus den gemessenen oder berechneten Werten der spektralen Bestrahlungsstärke ist nach r Gleichung (a) im Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG die effektive Bestrahlung H_{eff} im Wellenlängenbereich von λ_1 = 180 nm bis λ_2 = 400 nm zu berechnen. Hierbei sind die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit S(λ) der Tabelle 1 (siehe Seite 170) zu entnehmen. Der Expositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung H_{eff} durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen und die Haut im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm beträgt:

$$H_{eff} = 30\ J \cdot m^{-2}$$

Er gilt als maximal zulässiger Tageswert für eine achtstündige Arbeitsschicht.

Anmerkung: *Bei wiederholten oder über längere Zeiträume erfolgenden UV-Expositionen sind langfristig stochastische Strahlenwirkungen wie z.B. die Verursachung von Hautkrebs nicht auszuschließen. Es ist daher zu empfehlen, über lange Zeiträume den Tagesgrenzwert der effektiven Bestrahlung von 30 J/m² nicht auszuschöpfen, sondern im Mittel deutlich darunter zu bleiben. Die BGI 5006 [3] empfiehlt daher einen zusätzlichen Jahresgrenzwert von H_{eff} = 4000 J/m². Auf jeden Fall sollten UV-Strahlenexpositionen im Sinne des ALARA-Prinzipes auch unterhalb des verbindlichen Grenzwertes so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden (ALARA = as low as reasonably achievable).*

In Abbildung 1 ist die Funktion S(λ) grafisch dargestellt:

Abbildung 1:
Spektrale Wichtungsfunktion S(λ)

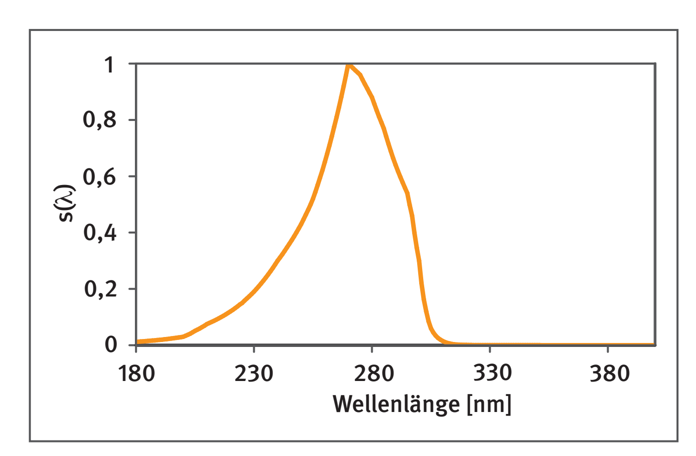


Tabelle 1:
Relative spektrale Wirksamkeit S(λ) für Einwirkungen auf die Augen und die Haut im Wellenlängenbereich zwischen 180 und 400 nm (entnommen der Tabelle 1.2 des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1])

λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)
180	0,0120	228	0,1740	276	0,9440	324	0,000520	372	0,0000866
181	0,0127	229	0,1820	277	0,9280	325	0,000500	373	0,0000834
182	0,0134	230	0,1900	278	0,9120	326	0,000480	374	0,0000802
183	0,0141	231	0,2000	279	0,8960	327	0,000460	375	0,0000770
184	0,0148	232	0,2100	280	0,8800	328	0,000440	376	0,0000744
185	0,0155	233	0,2200	281	0,8580	329	0,000425	377	0,0000718
186	0,0162	234	0,2300	282	0,8360	330	0,000410	378	0,0000692
187	0,0169	235	0,2400	283	0,8140	331	0,000397	379	0,0000666
188	0,0176	236	0,2520	284	0,7920	332	0,000383	380	0,0000640
189	0,0183	237	0,2640	285	0,7700	333	0,000370	381	0,0000618
190	0,0190	238	0,2760	286	0,7440	334	0,000355	382	0,0000596
191	0,0201	239	0,2880	287	0,7180	335	0,000340	383	0,0000574
192	0,0212	240	0,3000	288	0,6920	336	0,000328	384	0,0000552
193	0,0223	241	0,3120	289	0,6660	337	0,000316	385	0,0000530
194	0,0234	242	0,3240	290	0,6400	338	0,000304	386	0,0000512
195	0,0245	243	0,3360	291	0,6200	339	0,000292	387	0,0000494
196	0,0256	244	0,3480	292	0,6000	340	0,000280	388	0,0000476
197	0,0267	245	0,3600	293	0,5800	341	0,000272	389	0,0000458
198	0,0278	246	0,3740	294	0,5600	342	0,000264	390	0,0000440
199	0,0289	247	0,3880	295	0,5400	343	0,000256	391	0,0000424
200	0,0300	248	0,4020	296	0,5000	344	0,000248	392	0,0000408
201	0,0342	249	0,4160	297	0,4600	345	0,000240	393	0,0000392
202	0,0384	250	0,4300	298	0,4067	346	0,000232	394	0,0000376
203	0,0426	251	0,4475	299	0,3533	347	0,000224	395	0,0000360
204	0,0468	252	0,4650	300	0,3000	348	0,000216	396	0,0000348
205	0,0510	253	0,4825	301	0,2400	349	0,000208	397	0,0000336
206	0,0558	254	0,5000	302	0,1800	350	0,000200	398	0,0000324
207	0,0606	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000192	399	0,0000312
208	0,0654	256	0,5460	304	0,0900	352	0,000184	400	0,0000300
209	0,0702	257	0,5720	305	0,0600	353	0,000176		
210	0,0750	258	0,5980	306	0,0487	354	0,000168		
211	0,0790	259	0,6240	307	0,0373	355	0,000160		
212	0,0830	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000154		
213	0,0870	261	0,6820	309	0,0205	357	0,000148		
214	0,0910	262	0,7140	310	0,0150	358	0,000142		
215	0,0950	263	0,7460	311	0,0120	359	0,000136		
216	0,1000	264	0,7780	312	0,0090	360	0,000130		
217	0,1050	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1100	266	0,8480	314	0,0045	362	0,000122		
219	0,1150	267	0,8860	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9240	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1260	269	0,9620	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1320	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000107		
223	0,1380	271	0,9920	319	0,00120	367	0,000103		
224	0,1440	272	0,9840	320	0,00100	368	0,000100		
225	0,1500	273	0,9760	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1580	274	0,9680	322	0,000670	370	0,0000930		
227	0,1660	275	0,9600	323	0,000540	371	0,0000898		

Expositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm

Zum Schutz der Augen vor Trübungen der Augenlinsen durch langfristige Einwirkungen gilt zusätzlich ein Expositionsgrenzwert der Bestrahlung H_{UVA} im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm. Die Bestrahlung H_{UVA} ist nach der Gleichung (b) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] im Bereich von $\lambda_1 = 315$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu ermitteln. Der Expositionsgrenzwert für die Bestrahlung durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm beträgt:

$$H_{UVA} = 10\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Er gilt als maximal zulässiger Tageswert für eine achtstündige Arbeitsschicht.

Expositionsgrenzwert für den Wellenlängenbereich zwischen 100 und 180 nm

UV-Strahlung mit Wellenlängen von kleiner als 180 nm wird in der Luft sehr stark absorbiert. Es kommen daher praktisch kaum Expositionen von Personen durch diese Strahlung vor. Die Richtlinie 2006/25/EG [1] enthält auch keine Expositionsgrenzwerte für den Wellenlängenbereich von 100 bis 180 nm. Soll dennoch die Gefährdung durch Strahlung von 100 bis 180 nm Wellenlänge bewertet werden, so kann dazu die BGI 5006 [3] herangezogen werden. Dabei ist die Berechnung von H_{eff} nach Gleichung 4 des Abschnittes 3.3 der BGI 5006 über den Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 100$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm durchzuführen. Über die Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ liegen unterhalb von 180 nm noch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Die BGI 5006 empfiehlt, den Wert von $S(\lambda)$ bei 180 nm konstant für alle Wellenlängen zwischen 100 und 180 nm zu verwenden. Damit kann der Tages-Grenzwert der effektiven Bestrahlung von

$$H_{eff} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

auch im Wellenlängenbereich von 100 bis 400 nm angewendet werden.

4.2.2.3 Messung und Bewertung von UV-Strahlenexpositionen

Um beurteilen zu können, ob von UV-Strahlung Gefährdungen ausgehen, ist es oft notwendig, die Strahlenexpositionen exponierter Personen zu messen und zu bewerten. In DIN EN 14255-1 [4] sind Verfahren zur Messung und Beurteilung personenbezogener Expositionen gegenüber ultravioletter Strahlung durch künstliche Strahlungsquellen festgelegt.

4.2.3 Sichtbare und Infrarot-Strahlung

4.2.3.1 Wirkungen

Sichtbare Strahlung (Licht) ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm. Als Infrarot-Strahlung wird elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm bezeichnet. Beide Strahlungsarten können Schädigungen des Auges und der Haut hervorrufen. Wirkt Licht hoher Bestrahlungsstärke auf das Auge ein, so kann es zu einer Verbrennung und zu einer fotochemischen Schädigung (sog. Blaulichtgefährdung oder Fotoretinitis) der Netzhaut kommen.

Die Einwirkung sehr intensiver Infrarot-Strahlung auf das Auge kann theoretisch unmittelbar zu einer Trübung der Augenlinse führen. In der Praxis kommt dies aufgrund der Wärmeempfindung mit nachfolgender Abwendungsreaktion jedoch nicht vor. Dagegen werden Linsentrübungen (Katarakte) durch Infrarot-Strahleneinwirkungen über lange Zeiträume (10 bis 30 Jahre) beobachtet.

Eine weitere Schädigungsmöglichkeit bei der kurzfristigen Einwirkung intensiver Wärmestrahlung (Licht und Infrarot-Strahlung) ist die Verbrennung der Haut. Daneben kann eine Wärmestrahlungseinwirkung auch unterhalb der Verbrennungsschwelle zu einer thermischen Belastung des gesamten Körpers führen (siehe Abschnitt 3.1 „Klimatische Belastungen“).

4.2.3.2 Grenzwerte

Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte wurden der Richtlinie 2006/25/EG [1] entnommen. Bei der Ermittlung der Strahlenexpositionen, die mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden sollen, sind für die Messgrößen die Basis-Berechnungsformeln (c) bis (o) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] anzuwenden.

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor der fotochemischen Schädigung der Netzhaut des Auges durch Blaulicht (Fotoretinitis, Blaulichtgefährdung) im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 300$ nm und $\lambda_2 = 700$ nm

Zunächst ist die Winkelausdehnung α, unter der die Strahlenquelle beobachtet wird, zu bestimmen. Je nach Winkelausdehnung α der Quelle sind die folgenden Expositionsgrenzwerte (a) oder (b) anzuwenden:

(a) Winkelausdehnung der Quelle $\alpha \geq 11$ mrad

Um die effektive Strahldichte L_B einer Quelle für die Blaulichtgefährdung im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 700 nm zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (c, d) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG [1] anzuwenden. Die Werte der Funktion $B(\lambda)$ sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die Blaulicht-Strahldichte L_B bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung der Quelle $\alpha \geq 11$ mrad:

$$L_B = \frac{10^6}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \qquad \text{für } t \leq 10\,000 \text{ s}$$

$$L_B = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \qquad \text{für } t > 10\,000 \text{ s}$$

(b) Winkelausdehnung der Quelle α < 11 mrad

Um die Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B für die Blaulichtgefährdung im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 700 nm zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (e, f) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG [1] anzuwenden. Die Werte der Funktion B(λ) sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung der Quelle α < 11 mrad:

$$E_B = \frac{100}{t} \ W \cdot m^{-2} \quad \text{für } t \leq 10.000 \text{ s}$$

$$E_B = 0{,}01 \ W \cdot m^{-2} \quad \text{für } t > 10.000 \text{ s}$$

Tabelle 2:
Wichtungsfunktionen B(λ) für die Blaulichtgefährdung und R(λ) für die thermische Gefährdung der Netzhaut im Wellenlängenbereich von 380 bis 1400 nm (entnommen der Tabelle 1.3 des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1])

B (λ), R (λ) [dimensionslos], 380 bis 1400 nm		
λ in nm	**B (λ)**	**R (λ)**
300 ≤ λ < 380	0,01	–
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
500 < λ ≤ 600	$10^{0,02 \cdot (450-\lambda)}$	1
600 < λ ≤ 700	0,001	1
700 < v ≤ 1050	–	$10^{0,002 \cdot (700-\lambda)}$
1050 < λ ≤ 1150	–	0,2
1150 < λ ≤ 1200	–	$0{,}2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150-\lambda)}$
1200 < λ ≤ 1400	–	0,02

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor Verbrennungen der Netzhaut des Auges für den Wellenlängenbereich von 380 nm bis 1400 nm

Zunächst ist die Winkelausdehnung α, unter der die Strahlenquelle beobachtet wird, zu ermitteln. Um die effektive Strahldichte L_R (380 - 1400 nm) einer Strahlenquelle für die thermische Netzhautgefährdung zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (g) bis (i) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG [1] für den Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 1400 nm anzuwenden. Die Werte der Funktion R(λ) sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die thermisch gewichtete Strahldichte L_R (380 - 1400 nm) bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung α der Quelle:

$$L_R = \frac{2{,}8 \cdot 10^7}{C_\alpha} \ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \quad \text{für } t > 10 \text{ s}$$

$$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} \ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \quad \text{für } 10 \ \mu s < t \leq 10 \text{ s}$$

$$L_R = \frac{8{,}89 \cdot 10^8}{C_\alpha} \ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \quad \text{für } t < 10 \ \mu s$$

Dabei hängen die Werte des Korrekturfaktors C_α folgendermaßen von der Winkelausdehnung α der Quelle ab:

$C_\alpha = 1{,}7$ bei α ≤ 1,7 mrad

$C_\alpha = \alpha$ bei 1,7 ≤ α ≤ 100 mrad

$C_\alpha = 100$ bei α > 100 mrad

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor Verbrennungen der Netzhaut des Auges für den Wellenlängenbereich von 780 bis 1400 nm

Zum Schutz der Netzhaut vor Verbrennungen sind in der Richtlinie 2006/25/EG [1] neben den Grenzwerten für sichtbare und infrarote Strahlenexpositionen auch Grenzwerte allein für den IR-A-Bereich mit Wellenlängen zwischen 780 und 1400 nm festgelegt. Die Anwendung dieser Grenzwerte ist vor allem dann von Bedeutung, wenn die Strahlung keinen starken sichtbaren Anteil enthält, der Abwendungsreaktionen anregen kann.

Zunächst ist die Winkelausdehnung α, unter der die Strahlenquelle beobachtet wird, zu ermitteln. Um die effektive Strahldichte L_R (780 - 1400 nm) einer Strahlenquelle für die thermische Netzhautgefährdung zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (j) bis (l) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG [1] für den Wellenlängenbereich zwischen 780 und 1400 nm anzuwenden. Die Werte der Funktion R(λ) sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Bei der Messung von L_R (780 bis 1400 nm) ist ein Messfeld von 11 mrad einzuhalten.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die thermisch gewichtete Strahldichte L_R (780 bis 1400 nm) bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung α der Quelle:

$$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha} \; W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } t > 10 \text{ s}$$

$$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} \; W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } 10 \text{ µs} \le t \le 10 \text{ s}$$

$$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} \; W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } t < 10 \text{ µs}$$

Dabei hängen die Werte des Korrekturfaktors C_α folgendermaßen von der Winkelausdehnung α der Quelle ab:

$C_\alpha = 11$ bei $\alpha \le 11$ mrad

$C_\alpha = \alpha$ bei $11 \le \alpha \le 100$ mrad

$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100$ mrad

Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Augen vor Infrarot-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 780 und 3 000 nm

Dieser Grenzwert wurde zum Schutz der Hornhaut des Auges vor Verbrennungen und der Augenlinse vor Trübungen festgelegt. Die Bestrahlungsstärke E_{IR} ist nach Gleichung (m, n) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] im Bereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3000$ nm zu ermitteln. Der Expositionsgrenzwert für die Bestrahlungsstärke E_{IR} für Strahleinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3000$ nm beträgt:

$$E_{IR} = 18\,000 \cdot t^{-0,75} \; W \cdot m^{-2} \qquad \text{für } t \le 1.000 \text{ s}$$

$$E_{IR} = 100 \; W \cdot m^{-2} \qquad \text{für } t > 1.000 \text{ s}$$

Anmerkung:
Die Zusammenfassung der Expositionsgrenzwerte in der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz vor Verbrennungen der Hornhaut bei kurzfristiger Einwirkung einerseits und zum Schutz der Augenlinse bei jahrelanger Einwirkung andererseits ist umstritten. Bei Expositionszeiten über 1000 s, aber weit unter 8 h, erscheint der Wert von 100 W/m² als zu restriktiv. Sinnvoller erscheint bei diesen Expositionsdauern die Anwendung des in der BGI 5006 [3] empfohlenen Grenzwerts für die Bestrahlung H_{IR} *(780 bis 3 000 nm) von* $3 \cdot 10^6 \; J \cdot m^{-2}$ *während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h.*

Expositionsgrenzwert zum Schutz der Haut vor Verbrennungen im Wellenlängenbereich von 380 bis 3 000 nm

Die Bestrahlung H im Bereich von $\lambda_1 = 380$ nm bis $\lambda_2 = 3000$ nm ist nach der Gleichung (o) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] zu bestimmen. Für Einwirkungsdauern bis zu 10 s beträgt der Expositionsgrenzwert der Bestrahlung H_{skin} durch Strahleneinwirkungen auf die Haut im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3 000 nm:

$$H_{skin} = 20\,000 \cdot t^{0,25} \; J \cdot m^{-2}$$

Anmerkung 1:
Da es um den Schutz der Haut vor Verbrennungen geht, deren Auftreten von der maximalen Bestrahlungsstärke abhängt, ist die Bestrahlung H als Zeitintegral der Bestrahlungsstärke keine geeignete Messgröße. Teilt man die Gleichung für den Grenzwert durch die Zeit t, dann kommt man zu der Gleichung:

$$E_{skin} = 20\,000 \cdot t^{-0,75} \; J \cdot m^{-2}$$

Diese Grenzwert-Gleichung ist besser zur Beurteilung der Verbrennungsgefahr geeignet. Man erkennt an ihr vor allem, dass zur Bewertung der Verbrennungsgefahr der Haut die maximale Bestrahlungsstärke E_{skin} *im Wellenlängenbereich von 380 bis 3 000 nm zu ermitteln ist.*

Anmerkung 2:
Die EU-Richtlinie 2006/25/EG [1] geht von der falschen Annahme aus, dass Expositionen der Haut gegenüber Wärmestrahlung nicht länger als 10 s dauern, da sonst eine Abwendungsreaktion der bestrahlten Person erfolgte und die Exposition beendet würde. Sie hat daher für Expositionszeiten über 10 s keine Grenzwerte festgelegt. In der Praxis kommen aber sehr wohl Wärmestrahlungs-Expositionen vor, die länger als 10 s dauern. Das IFA hat Empfehlungen für die Anwendung von Grenzwerten für Wärmestrahlung zum Schutz vor Verbrennungen der Haut bis zu 1 000 s veröffentlicht [6]. Sie basieren auf zeitabhängigen Werten der Bestrahlungsstärken für Hitzeschmerz-Schwellen, die der Norm DIN 33403-3 [7] entnommen wurden.

4.2.3.3 Messung und Bewertung von sichtbarer und infraroter Strahlung

Um beurteilen zu können, ob von sichtbarer oder infraroter Strahlung Gefährdungen ausgehen, ist es oft notwendig, die Strahlenexpositionen exponierter Personen zu messen und zu bewerten. In DIN EN 14255-2 [5] sind Verfahren zur Messung und Bewertung personenbezogener Expositionen gegenüber sichtbarer und infraroter Strahlung durch künstliche Strahlungsquellen festgelegt.

4.2.4 Literatur

[1] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künst-liche optische Strahlung), Amtsblatt der Europäischen Union, L 114/38, 27. April 2006

[2] Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen vom 19. Juli 2010, Bundesgesetzblatt 2010 Teil I Nr. 38 vom 26. Juli 2010

[3] BGI 5006: Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung, Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, Oktober 2004

[4] DIN EN 14255-1: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung. Juni 2005

[5] DIN EN 14255-2: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 2: Sichtbare und infrarote Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz. März 2006

[6] Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch Wärmebestrahlung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Januar 2011, Internet: http://www.dguv.de/ifa/de/fac/strahl/pdf/gw_inkohaerente_opt_strahlung.pdf, Webcode d13473

[7] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße. Juli 2011

4.3 Laserstrahlung

4.3.1 Erläuterungen

Laserstrahlung ist kohärente optische Strahlung, die meist bei einer einzelnen Wellenlänge im ultravioletten, im sichtbaren oder im infraroten Spektralbereich emittiert wird (siehe Abschnitt 4.2.1). Kohärenz heißt, dass die Entstehung der Strahlung auf atomarer Ebene koordiniert abläuft und sich die Strahlungsanteile, die von einzelnen Atomen oder Molekülen ausgesandt werden, zu einer Gesamtstrahlung überlagern. Hierdurch kann eine sehr intensive Strahlung erzeugt werden.

4.3.2 Wirkungen

Die möglichen Schädigungen durch Laserstrahlung sind die gleichen, wie sie für inkohärente ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung beschrieben werden (siehe 4.2). Eine Schädigung insbesondere des Auges, aber auch der Haut, ist möglich. Da Laserstrahlung aufgrund der Kohärenzeigenschaft stark gebündelt werden kann, sind damit hohe Strahlungsintensitäten zu erzielen. Hierdurch kann es vor allem zu akuten Augen- und Hautschäden wie Verbrennungen kommen.

4.3.3 Grenzwerte

Expositionsgrenzwerte für inkohärente Strahlung und Laserstrahlung sind in der Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung" [1] festgelegt. Diese Richtlinie wird durch die Arbeitsschutzverordnung zu optischer Strahlung – OStrV [2] in nationales Recht umgesetzt. Bis auf Weiteres bleibt zwar noch die Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung" BGV B2 [3] in Kraft. Als Expositionsgrenzwerte sind aber ausschließlich die in der Richtlinie 2006/25/EG genannten Werte rechtsverbindlich. Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte sind dieser Richtlinie [1] entnommen. Die Nummerierung der Tabellen folgt aus Gründen der Klarheit ebenfalls der Nummerierung in der Richtlinie.

Die Richtlinie 2006/25/EG enthält zu Beginn des Anhangs II Formeln und Definitionen für Messgrößen, in denen die Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung ausgedrückt werden. In der Tabelle 2.1 ordnet sie dann Wellenlängenbereiche, die Gefährdungen für Augen und Haut und die Tabellennummern mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten einander zu.

Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlen – kurze Expositionsdauer ($t < 10$ s)

Die Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für kurze Expositionsdauern ($t < 10$ s) sind Tabelle 2.2 zu entnehmen.

Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung – lange Expositionsdauer ($t > 10$ s)

Die Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für lange Expositionsdauern ($t > 10$ s) sind Tabelle 2.3 zu entnehmen.

Tabelle 2.1:
Strahlungsgefährdungen für Augen und Haut (Tabelle 2.1 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG)

Wellenlänge λ in nm	Strahlungsbereich	Betroffenes Organ	Gefährdung	Tabelle für den Expositionsgrenzwert
180 bis 400	UV	Auge	Fotochemische Schädigung und thermische Schädigung	2.2, 2.3
180 bis 400	UV	Haut	Erythem	2.4
400 bis 700	Sichtbar	Auge	Netzhautschädigung	2.2
400 bis 600	Sichtbar	Auge	Fotochemische Schädigung	2.3
400 bis 700	Sichtbar	Haut	Thermische Schädigung	2.4
700 bis 1400	IR-A	Auge	Thermische Schädigung	2.2, 2.3
700 bis 1400	IR-A	Haut	Thermische Schädigung	2.4
1400 bis 2600	IR-B	Auge	Thermische Schädigung	2.2
2600 bis 10^6	IR-C	Auge	Thermische Schädigung	2.2
1400 bis 10^6	IR-B, IR-C	Auge	Thermische Schädigung	2.3
1400 bis 10^6	IR-B, IR-C	Haut	Thermische Schädigung	2.4

Tabelle 2.2:
Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für kurze Expositionsdauern ($t < 10$ s); entspricht der Tabelle 2.2 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG

Wellenlänge[a] [nm]		Öffnung	Dauer [s]						
			10^{-13}-10^{-11}	10^{-11}-10^{-9}	10^{-9}-10^{-7}	10^{-7} - $1{,}8 \cdot 10^{-5}$	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$-$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$-10^{-3}	10^{-3}-10^{1}
UV-C	180-280	1 mm für t<0,3 s; $1{,}5 \cdot t^{0{,}175}$ für 0,3<t<10 s	$E = 3 \cdot 10^{10} \cdot [W\,m^{-2}]^4$		$H = 30\ [Jm^{-2}]$				
UV-B	280-302								
	303				$H = 40\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 2{,}6 \cdot 10^{-9}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	304				$H = 60\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}3 \cdot 10^{-8}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	305				$H = 100\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}0 \cdot 10^{-7}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	306				$H = 160\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 6{,}7 \cdot 10^{-7}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	307				$H = 250\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 4{,}0 \cdot 10^{-6}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	308				$H = 400\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 2{,}6 \cdot 10^{-5}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	309				$H = 630\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}6 \cdot 10^{-4}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	310				$H = 10^3\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}0 \cdot 10^{-3}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	311				$H = 1{,}6 \cdot 10^3\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 6{,}7 \cdot 10^{-3}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	312				$H = 2{,}5 \cdot 10^3\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 4{,}0 \cdot 10^{-2}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	313				$H = 4{,}0 \cdot 10^3\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 2{,}6 \cdot 10^{-1}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	314				$H = 6{,}3 \cdot 10^3\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}6 \cdot 10^{0}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
UV-A	315-400				$H = 5{,}6 \cdot 10^3\ t^{0{,}25}\ [J\,m^{-2}]$				
Sichtbar und IR-A	400-700	7 mm	$H = 1{,}5 \cdot 10^{-4} C_E\ [J\,m^{-2}]$	$H = 2{,}7 \cdot 10^4\ t^{0{,}75}\ C_E\ [J\,m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3}\ C_E\ [J\,m^{-2}]$		$H = 18 \cdot t^{0{,}75}\ C_E\ [J\,m^{-2}]$		
	700-1050		$H = 1{,}5 \cdot 10^{-4} C_A C_E\ [J\,m^{-2}]$	$H = 2{,}7 \cdot 10^4\ t^{0{,}75}\ C_A C_E\ [J\,m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3}\ C_A C_E\ [J\,m^{-2}]$		$H = 18 \cdot t^{0{,}75}\ C_A C_E\ [J\,m^{-2}]$		
	1050-1400		$H = 1{,}5 \cdot 10^{-3} C_C C_E\ [J\,m^{-2}]$	$H = 2{,}7 \cdot 10^5\ t^{0{,}75}\ C_C C_E\ [J\,m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-2}\ C_C C_E\ [J\,m^{-2}]$			$H = 90 \cdot t^{0{,}75}\ C_C C_E\ [J\,m^{-2}]$	
IR-B und IR-C	1400-1500	s. Fußnote [b]	$E = 10^{12}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 10^3\ [J\,m^{-2}]$				$H = 5{,}6 \cdot 10^3 \cdot t^{0{,}25}\ [J\,m^{-2}]$
	1500-1800		$E = 10^{13}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 10^4\ [J\,m^{-2}]$				
	1800-2600		$E = 10^{12}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 10^3\ [J\,m^{-2}]$				$H = 5{,}6 \cdot 10^3 \cdot t^{0{,}25}\ [J\,m^{-2}]$
	2600-10^6		$E = 10^{11}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 100\ [J\,m^{-2}]$	$H = 5{,}6 \cdot 10^3 \cdot t^{0{,}25}\ [J\,m^{-2}]$			

Anmerkungen zu Tabelle 2.2:

a) Wird die Wellenlänge des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

b) Wenn $1400 \le \lambda < 10^5$ nm: Durchmesser der Messblende = 1 mm bei $t \le 0{,}3$ s und $1{,}5 \cdot t^{0{,}375}$ mm bei $0{,}3\ s < t < 10$ s; wenn $10^5 \le \lambda \le 10^6$ nm: Durchmesser der Messblende = 11 mm

c) Mangels Daten für diese Impulslängen empfiehlt die ICNIRP die Anwendung des Grenzwertes für 1 ns.

d) Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Laserimpulsdauern von Impulsen, die innerhalb eines Intervalls T_{min} (siehe Tabelle 2.6) liegen, aufaddiert werden, und der daraus resultierende Zeitwert muss in der Formel $5{,}6 \cdot 10^3 \cdot t^{0{,}25}$ für t eingesetzt werden.

Tabelle 2.3:
Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für lange Expositionsdauern ($t > 10$ s); entspricht der Tabelle 2.3 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG

Wellenlänge[a] [nm]		Öffnung	Dauer [s]		
			10^1 - 10^2	10^2 - 10^4	10^4 - $3 \cdot 10^2$
UV-C	180-280	3,5 mm	$H = 30$ [J m^{-2}]		
UV-B	280-302				
	303		$H = 40$ [J m^{-2}]		
	304		$H = 60$ [J m^{-2}]		
	305		$H = 100$ [J m^{-2}]		
	306		$H = 160$ [J m^{-2}]		
	307		$H = 250$ [J m^{-2}]		
	308		$H = 400$ [J m^{-2}]		
	309		$H = 630$ [J m^{-2}]		
	310		$H = 1{,}0 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	311		$H = 1{,}6 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	312		$H = 2{,}5 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	313		$H = 4{,}0 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	314		$H = 6{,}3 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
UV-A	315-400		$H = 10^4$ [J m^{-2}]		
Sichtbar 400-700	400-600 Fotochemisch[b] Netzhautschädigung	7 mm	$H = 100\ C_B$ [J m^{-2}] ($\gamma = 11$ mrad)[d]	$E = 1\ C_B$ [W m^{-2}]; ($\gamma = 1{,}1\ t^{0,5}$ mrad)[d]	$E = 1\ C_B$ [W m^{-2}]; ($\gamma = 110$ mrad)[d]
	400-700 Thermisch[b] Netzhautschädigung		wenn $\alpha < 1{,}5$ mrad dann $E = 10$ [W m^{-2}] wenn $\alpha > 1{,}5$ mrad und $t \leq T_2$ dann $H = 18\ C_E\ t^{0,75}$ [J m^{-2}] wenn $\alpha > 1{,}5$ mradund $t > T_2$ dann $E = 18\ C_E\ T_2^{-0,25}$ [W m^{-2}]		
IR-A	700-1400	7 mm	wenn $\alpha < 1{,}5$ mrad dann $E = 10\ C_A\ C_C$[W m^{-2}] wenn $\alpha > 1{,}5$ mrad und $t \leq T_2$ dann $H = 18\ C_A\ C_C\ C_E\ t^{0,75}$ [J m^{-2}] wenn $\alpha > 1{,}5$ mradund $t > T_2$ dann $E = 18\ C_A\ C_C\ C_E\ T_2^{-0,25}$ [W m^{-2}] (maximal 1000 Wm^{-2})		
IR-B und IR-C	$1400\text{-}10^6$	siehe [c]	$E = 1000$ [W m^{-2}]		

Anmerkungen zu Tabelle 2.3:

a) Wird die Wellenlänge oder eine andere Beschaffenheit des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

b) Bei kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung von 1,5 mrad oder weniger sind die beiden Grenzwerte für sichtbare Strahlung E von 400 nm bis 600 nm zu reduzieren auf die thermischen Grenzwerte für $10\ s \leq t < T_1$ und auf die fotochemischen Grenzwerte für längere Zeiten. Zu T_1 und T_2 siehe Tabelle 2.5 der Richtlinie 2006/25/EG oder Tabelle 4 in diesem Dokument. Der Grenzwert für fotochemische Netzhautgefährdung kann auch ausgedrückt werden als Integral der Strahldichte über die Zeit $G = 10^6\ C_B\ [J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$, wobei Folgendes gilt: $t > 10$ s bis zu $t = 10\,000$ s und $L = 100\ C_B\ [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ bei $t > 10\,000$ s. Zur Messung von G und L ist γ_m als Mittelung des Gesichtsfeldes zu verwenden. Die offizielle Grenze zwischen sichtbar und Infrarot ist 780 nm (entsprechend der Definition der CIE). Die Spalte mit den Bezeichnungen für die Wellenlängenbänder dient lediglich der besseren Übersicht. (Die Bezeichnung G wird von CEN verwendet, die Bezeichnung L_t von der CIE und die Bezeichnung L_p von der IEC und dem CENELEC.)

c) Für die Wellenlänge $1400 - 10^5$ nm: Durchmesser der Messblende = 3,5 mm; für die Wellenlänge $10^5 - 10^6$ nm: Durchmesser der Messblende = 11 mm

d) Für Messungen des Expositionsgrenzwertes ist γ wie folgt zu berücksichtigen: Wenn γ (Winkelausdehnung einer Quelle) $> \gamma$ (Grenzempfangswinkel, in eckigen Klammern in der entsprechenden Spalte angegeben), dann sollte das Messgesichtsfeld γ_m den Wert γ erhalten. (Bei Verwendung eines größeren Messgesichtsfeldes würde die Gefährdung zu hoch angesetzt.)
Wenn $\alpha < \gamma$, dann muss das Messgesichtsfeld γ_m groß genug sein, um die Quelle einzuschließen; es ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als γ.

Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen

Die Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen sind Tabelle 2.4 zu entnehmen.

Tabelle 2.4:
Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen; entspricht der Tabelle 2.4 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG

Wellenlänge[a] [nm]		Öffnung	Dauer [s]					
			$< 10^{-9}$	10^{-9}-10^{-7}	10^{-7}-10^{-3}	10^{-3}-10^{1}	10^{1}-10^{3}	10^{3}-$3 \cdot 10^{4}$
UV (A, B, C)	180-400	3,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10}$ [W m^{-2}]	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
Sichtbar und IR-A	400-700	3,5 mm	$E = 2 \cdot 10^{11}$ [W m^{-2}]	$H = 200\ C_A$ [J m^{-2}]	$H = 1{,}1 \cdot 10^{4}\ C_A\ t^{0{,}25}$ [J m^{-2}]		$E = 2 \cdot 10^{3}\ C_A$ [W m^{-2}]	
	700-1400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A$ [W m^{-2}]					
IR-B und IR-C	1400-1500		$E = 10^{12}$ [W m^{-2}]	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
	1500-1800		$E = 10^{13}$ [W m^{-2}]					
	1800-2600		$E = 10^{12}$ [W m^{-2}]					
	2600-10^{6}		$E = 10^{11}$ [W m^{-2}]					

Anmerkungen zu Tabelle 2.4:

a) Wird die Wellenlänge oder eine andere Beschaffenheit des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter

Werte für die Korrekturfaktoren und Parameter, die in die Tabellen zur Berechnung der Grenzwerte einzusetzen sind, enthält die nachstehende Tabelle 2.5.

Tabelle 2.5:
Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter. Entspricht der Tabelle 2.5 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG.

Parameter nach ICNIRP	Gültiger Spektralbereich (nm)	Wert
C_A	$\lambda < 700$	$C_A = 1{,}0$
	700 - 1050	$C_A = 10^{0{,}002(\lambda - 700)}$
	1050 - 1400	$C_A = 5{,}0$
C_B	400 - 450	$C_B = 1{,}0$
	450 - 700	$C_B = 10^{0{,}02(\lambda - 450)}$
C_C	700 - 1150	$C_C = 1{,}0$
	1150 - 1200	$C_C = 10^{0{,}018(\lambda - 1150)}$
	1200 - 1400	$C_C = 8{,}0$
T_1	$\lambda < 450$	$T_1 = 10$ s
	450 - 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0{,}02\ (\lambda - 450)}]$ s
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100$ s
Parameter nach ICNIRP	Biologische Wirkung	Wert
α_{min}	Alle thermischen Wirkungen	$\alpha_{min} = 1{,}5$ mrad
Parameter nach ICNIRP	Gültiger Winkelbereich (mrad)	Wert
C_E	$\alpha < \alpha_{min}$	$C_E = 1{,}0$
	$\alpha_{min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/\alpha_{min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2/(\alpha_{min} \cdot \alpha_{max})$ mrad bei $\alpha_{max} = 100$ mrad
T_2	$\alpha < 1{,}5$	$T_2 = 10$ s
	$1{,}5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1{,}5)\ /\ 98{,}5}]$ s
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100$ s
Parameter nach ICNIRP	Gültige Expositionsdauer (s)	Wert
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ [mrad]
	$100 < t < 10^{4}$	$\gamma = 1{,}1\ t^{0{,}5}$ [mrad]
	$t > 10^{4}$	$\gamma = 110$ [mrad]

ICNIRP: International Commission on Non-Jonizing, Radiation Protection, Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

Wiederholt gepulste oder modulierte Laserstrahlung

Jede der drei folgenden allgemeinen Regeln ist bei allen wiederholten Expositionen anzuwenden, die bei wiederholt gepulster oder modulierter Laserstrahlung auftreten:

1. Die Exposition gegenüber jedem einzelnen Impuls einer Impulsfolge darf den Expositionsgrenzwert für einen Einzelimpuls dieser Impulsdauer nicht überschreiten.

2. Die Exposition gegenüber einer Impulsgruppe (oder einer Untergruppe von Impulsen in einer Impulsfolge) innerhalb des Zeitraums t darf den Expositionsgrenzwert für die Zeit t nicht überschreiten.

3. Die Exposition gegenüber jedem einzelnen Impuls in einer Impulsgruppe darf den Expositionsgrenzwert für den Einzelimpuls, multipliziert mit einem für die kumulierte thermische Wirkung geltenden Korrekturfaktor $C_p = N^{-0,25}$ nicht überschreiten (wobei N die Zahl der Impulse ist). Diese Regel gilt nur für Expositionsgrenzwerte zum Schutz gegen thermische Schädigung, wobei alle in weniger als T_{min} (Tabelle 2.6) erzeugten Impulse als einzelner Impuls behandelt werden.

Tabelle 2.6:
Zeiten T_{min}, unterhalb der die Impulsgruppen als einzelner Impuls betrachtet werden

Gültiger Spektralbereich in nm	T_{min}
$315 < \lambda \leq 400$	10^{-9} s (= 1 ns)
$400 < \lambda \leq 1050$	$18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 µs)
$1050 < \lambda \leq 1400$	$50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 µs)
$1400 < \lambda \leq 1500$	10^{-3} s (= 1 ms)
$1500 < \lambda \leq 1800$	10 s
$1800 < \lambda \leq 2600$	10^{-3} s (= 1 ms)
$2600 < \lambda \leq 10^6$	10^{-7} s (= 100 ns)

4.3.4 Weitere Hilfen

Die Richtlinie 2006/25/EG [1] enthält Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung in Tabellenform und damit in einer sehr knappen Darstellung. Zur praktischen Anwendung der Grenzwerte sind in der Regel weitere Informationen nötig. Eine Hilfe kann hier die Unfallverhütungsvorschrift BGV B2 [3] bieten, die weitere Details zu den Themen gepulste Strahlung, additive Wirkung mehrerer Wellenlängen, Größe von Messblenden und richtungsveränderlicher Laserstrahlung enthält. Auch DIN EN 60 825-1 [4] enthält weitere Informationen.

4.3.5 Empfehlungen

Die Anlage II der Richtlinie 2006/25/EG [1] enthält für Laserstrahlung einige Grenzwerte, die zum Teil erheblich höher liegen als für inkohärente optische Strahlung in Anlage I. Dazu gehören z.B. Grenzwerte für Augen und Haut im Wellenlängenbereich über 700 nm für lange Expositionszeiten bis zu 30 000 s. Sofern die Laserstrahlung längere Zeit größere Hautareale bestrahlt, wird empfohlen, verminderte Expositionsgrenzwerte anzuwenden. Die BGV B2 empfiehlt eine Verringerung des Grenzwertes von $E = 1000\ W/m^2$ auf $E = 100\ W/m^2$ im Wellenlängenbereich von 1400 nm bis 10^6 nm, wenn mehr als 0,1 m^2 Hautfläche bestrahlt wird. Grundsätzlich sind zwar die Grenzwerte der Richtlinie 2006/25/EG über die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) [2] rechtsverbindlich, sofern aber die BGV B2 niedrigere Grenzwertempfehlungen (MZB-Werte) enthält, wird empfohlen, zur Vorsicht diese anzuwenden.

4.3.6 Literatur

[1] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung). Amtsblatt der Europäischen Union, L 114/38, 27. April 2006

[2] Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen vom 19. Juli 2010. Bundesgesetzblatt 2010 Teil I Nr. 38 vom 26. Juli 2010

[3] BGV B2: Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag, Köln, Januar 1997, mit Durchführungsanweisung vom Oktober 1995, aktualisierte Nachdruckfassung der Durchführungsanweisung vom Januar 2007

[4] DIN EN 60 825-1: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2007); Deutsche Fassung EN 60825-1:2007, Ausgabe Mai 2008

4.4 Elektromagnetische Felder

4.4.1 Erläuterungen

Elektromagnetische Felder werden wie optische Strahlungen zur nicht ionisierenden Strahlung gezählt. Ihr Spektrum umfasst den Frequenzbereich von f = 0 Hz bis 300 GHz, in dem unterschieden wird in

- statische elektrische und magnetische Felder:
  f = 0 Hz
- niederfrequente elektrische und magnetische Felder:
  0 Hz < f < 30 kHz
- hochfrequente elektromagnetische Felder:
  30 kHz < f < 300 GHz

Bei der Einwirkung dieser Felder auf den Menschen ist die Wirkung je nach Frequenzbereich unterschiedlich. Während es bei niederfrequenten Feldern bis zu etwa 30 kHz zu Reizungen von Muskeln und Nervenzellen kommen kann, ist die Wirkung von Feldern oberhalb dieses Frequenzbereichs thermischer Natur. Deren Einwirkung kann bei hoher Intensität zu lokaler Temperaturerhöhung im Körper und damit zur Schädigung von Körperteilen führen.

4.4.2 Grenzwerte

Bei der Errichtung und beim Betrieb von Anlagen, die elektromagnetische Felder zu gewerblichen Zwecken erzeugen (z.B. Sendeanlagen), sind die Grenzwerte nach der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [1] einzuhalten. Diese Grenzwerte dienen zum Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Einwirkungen durch die erzeugten Felder.

Grenzwerte zum Schutz vor Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern an Arbeitsplätzen sind in der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ [2] festgelegt. Sie wird durch die BG-Regel BGR B11 „Elektromagnetische Felder“ [3] näher erläutert. Die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 unterscheidet zwischen „Basiswerten“ und davon „abgeleiteten Werten“. Die Basiswerte sind Grenzwerte für die unmittelbare Einwirkung elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Körper. Sie sind für die Größen Körperstromdichte, spezifische Absorption, spezifische Absorptionsrate und Leistungsflussdichte festgelegt. Da sich diese Größen im Allgemeinen nur schwer messen lassen, wurden auch Grenzwerte für die leichter zu messenden Größen elektrische und magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte, Leitungsflussdichte, Körperstrom und Berührungsspannung angegeben – diese werden als abgeleitete Werte bezeichnet. Es gilt die Regelung, dass die Basiswerte in jedem Fall einzuhalten sind. Werden die abgeleiteten Werte, die den Basiswerten zumindest gleichwertig, meist aber restriktiver sind, eingehalten, dann ist man sicher, dass auch die Basiswerte eingehalten werden. Diese Regelung hat den Vorteil, dass man in der Regel nur einfach messbare Größen bestimmen muss wie z.B. elektrische und magnetische Feldstärken.

Die Grenzwerte werden in der BGV B11 als „zulässige Werte“ bezeichnet. Gemeint ist damit die Obergrenze einer Größe, die einzuhalten ist. Im Abschnitt 4.4.4 sind die zulässigen Werte nach BGV B11 zusammengestellt.

Hinweis: Die Regelungen der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 werden in Zukunft von den Regelungen der europäischen Richtlinie 2004/40/EG [4] abgelöst, in der zwischen Expositionsgrenzwerten und Auslösewerten unterschieden wird. Die Expositionsgrenzwerte stimmen mit den Basiswerten und die Auslösewerte in etwa mit den zulässigen Werten für den Expositionsbereich 2 der BGV B11 überein. Bei einer Überschreitung der Auslösewerte muss in Zukunft die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nachgewiesen werden. Die EU-Richtlinie 2004/40/EG muss bis spätestens April 2012 in nationales Recht umgesetzt werden. Sobald die Umsetzung dieser EU-Richtlinie in nationales Recht erfolgt, wird die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 außer Kraft gesetzt werden.

4.4.3 Literatur

[1] 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996, BGBl. I (1996) Nr. 66, ausgegeben am 20. Dezember 1996

[2] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGV B11). Ausg. 6/2001. Carl Heymanns, Köln 2001

[3] Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGR B11). Ausg. 1/2006, Hrsg.: Fachausschuss „Elektrotechnik“ der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit bei der Arbeit (BGZ), Carl Heymanns, Köln 2006

[4] Berichtigung der Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (18. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EU (2004) Nr. L 184, S. 1-9

4.4.4 Zulässige Werte nach BGV B11

Hinweis: Die im Folgenden aufgelisteten Grenzwerte wurden der Anlage 1 der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“, Juni 2001 [2], entnommen. Die Nummerierung in diesem Abschnitt entspricht der Anlage 1 der BGV B11 [2].

Zulässige Werte für elektromagnetische Felder

Als zulässige Werte werden Basis- und abgeleitete Werte für die verschiedenen Expositionsbereiche angegeben. Diese gelten für sinusförmige periodische Vorgänge einer Frequenz. Für gepulste elektromagnetische Felder und Anwendung der Basiswerte siehe Abschnitte 3 und 4.

Die zulässigen Werte für Expositionsbereich 1 orientieren sich am Konzept der Vermeidung von Gefährdungen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren. Es sind Effekte berücksichtigt wie Reizung von Sinnesorganen, Nerven- und Muskelzellen, Beeinflussung der Herzaktion und Wärmeeffekte. Die Werte gelten längstens für eine Arbeitsschicht.

Für den Expositionsbereich 2 gelten Werte, die aufgrund der allgemeinen Zugänglichkeit und zur Vermeidung möglicher Belästigungen zusätzliche Sicherheitsfaktoren berücksichtigen.

1 Basiswerte für unmittelbare Wirkungen

Als Basiswerte für unmittelbare Wirkungen sind die in Tabelle 1 angegebenen Grenzwerte festgelegt.

2 Abgeleitete Werte

Die abgeleiteten Werte sind so festgelegt, dass selbst unter Zugrundelegung der ungünstigsten Expositionsbedingungen der EM-Felder die Basiswerte nicht überschritten werden. Die abgeleiteten Werte für den Expositionsbereich 1 und den Expositionsbereich 2 wurden dabei unter Berücksichtigung verschiedener Sicherheitsfaktoren aus den Basiswerten der Tabelle 1 berechnet.

Die abgeleiteten Werte sind grundsätzlich einzuhalten. Sie dürfen überschritten werden, wenn nachgewiesen ist, dass die Basiswerte nicht überschritten werden.

Die Einhaltung der abgeleiteten Werte gewährleistet nicht zwangsläufig die Sicherheit von Trägern aktiver elektronischer Körperhilfsmittel.

Die Abbildungen 1 und 2 enthalten die grafische Darstellung der abgeleiteten Werte.

2.1 Abgeleitete Werte im Frequenzbereich 0 Hz bis 29 kHz

2.1.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Bei der Festlegung der Werte für kurze Expositionszeiten werden die Sicherheitsfaktoren der abgeleiteten Werte für Expositionsbereich 1 verringert. Dies ist aufgrund der Größe der Sicherheitsfaktoren und der kontrollierten Expositionsbedingungen zulässig. Zur Begrenzung von Sekundäreffekten darf beim elektrischen Feld ein Wert von 30 kV/m nicht überschritten werden.

Der zulässige Wert der magnetischen Flussdichte im Frequenzbereich 0 bis 1 Hz des Expositionsbereiches 1 ist aufgrund von Induktionswirkungen auf bewegte leitfähige Körper im Magnetfeld festgelegt worden. Zusätzlich ist in diesem Frequenzbereich die Kraftwirkung auf ferromagnetische Teile zu berücksichtigen.

Für Extremitäten dürfen die in Tabelle 3 angegebenen Werte für Magnetfelder um den Faktor 2,5 überschritten werden.

Tabelle 1:
Basiswerte für unmittelbare Wirkungen

Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Stromdichte J in A/m^2 (1)	Spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg (4)			Spezifische Absorption für Impulsfelder SA in J/kg (5), (6)	Leistungsdichte S in W/m^2 (7), (8)
		Ganzkörpermittelwert	Lokale SAR (5)			
			Kopf und Rumpf	Gliedmaßen		
› 0-1 Hz	0,040	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
1-4 Hz	0,040/f (2)	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
4-1000 Hz	0,010	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
1-100 kHz	f/100 (3)	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
0,1-10 MHz	f/100 (3)	0,4	10	20	(–)	(–)
0,01-10 GHz	(–)	0,4	10	20	0,01	(–)
10-300 GHz	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)	50

(1) *Über jedes Flächenelement von 1 cm^2 senkrecht zur Stromrichtung sowie über jedes Zeitintervall von 1 s zu mitteln*

(2) *f in Hz*

(3) *f in kHz*

(4) *Über jedes 6 Minuten-Intervall arithmetisch zu mitteln*

(5) *Mittelungsmasse 10 g*

(6) *Trägerfrequenz f › 300 MHz und Pulslänge T ‹ 30 µs*

(7) *Über jedes Flächenelement von 20 cm^2 und jedes Zeitintervall von jeweils $68/f^{1,05}$-Minuten (f in GHz) zu mitteln*

(8) *Die maximale örtliche Leistungsdichte gemittelt über jedes Flächenelement von 1 cm^2 darf 1 kW/m^2 nicht überschreiten*

(–) *bei diesen Frequenzen nicht relevant*

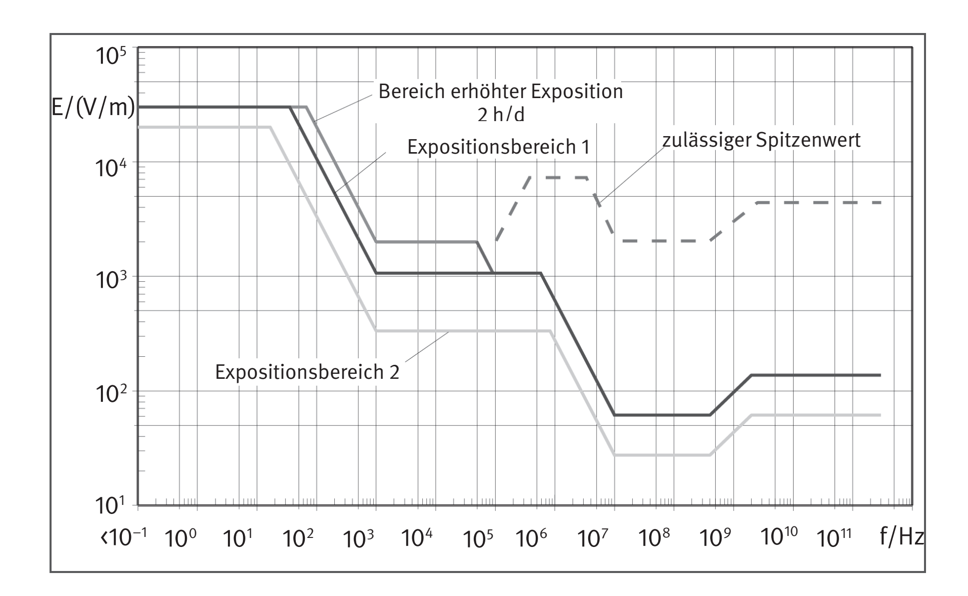


Abbildung 1:
Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition

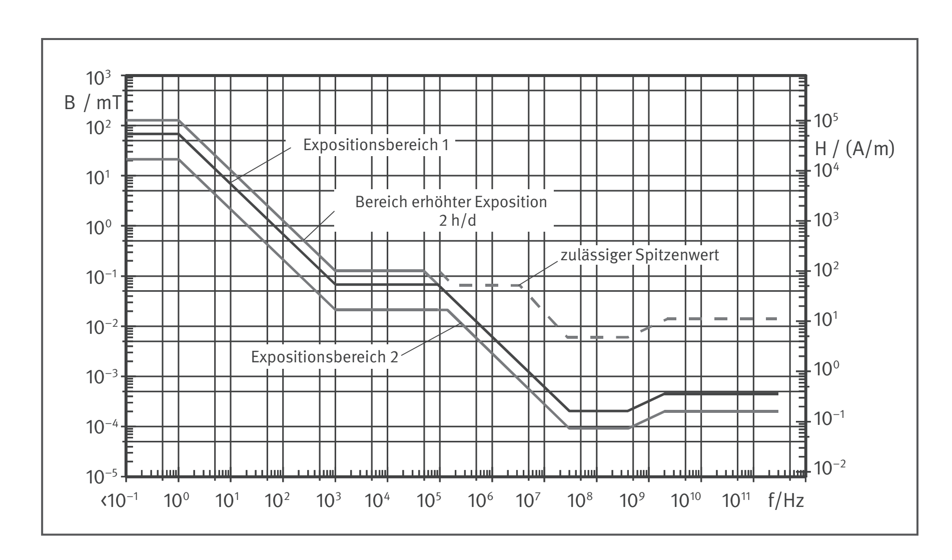


Abbildung 2:
Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte in den Expositions-bereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 2:
Effektivwerte der elektrischen Feldstärke im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f/Hz	**Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m**	
	Expositionsbereich 1	**Bereich erhöhter Exposition 2 h/d**
0 - 35,53	30	30
35,53 - 66,67	1066/f	30
66,67 - 1000	1066/f	2000/f
1000 - 29000	1,066	2

Tabelle 3:
Effektivwerte der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f/Hz	**Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT** [a]	
	Expositionsbereich 1	**Bereich erhöhter Exposition 2 h/d**
0 - 1	67,9 [b]	127,3 [b]
1 - 1000	67,9/f	127,3/f
1000 - 29000	$67{,}9 \cdot 10^{-3}$	$127{,}3 \cdot 10^{-3}$

[a] *Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln*

[b] *Werte oberhalb von 67,9 mT dürfen nur unter Beachtung von § 14 angewendet werden.*

2.1.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 4:
Effektivwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 2

Frequenzbereich f/Hz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT[a]
0 - 1 1 - 16,67 16,67 - 1000 1000 - 29 000	20 20 333,3/f $333{,}3 \cdot 10^{-3}$	21,22 21,22/f 21,22/f $21{,}22 \cdot 10^{-3}$

[a] Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

2.2 Übergangsbereich 29 kHz bis 91 kHz

Die Festlegungen für diesen Frequenzbereich berücksichtigen den Übergang von niederfrequenten Reizwirkungen zu hochfrequenten Wärmewirkungen.

2.2.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 5:
Effektivwerte der elektrischen Feldstärke im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f/kHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
29 - 48,5 48,5 - 91	1,066 1,066	2 97/f

Tabelle 6:
Effektivwerte der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f/kHz	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in µT[a]	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
29 - 48,5 48,5 - 91	67,9 67,9	127,3 6 176/f

[a] Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

2.2.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 7:
Effektivwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 2

Frequenzbereich f/kHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in µT[a]
29 - 91	333,3	21,22

[a] Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

2.3 Abgeleitete Werte im Frequenzbereich 91 kHz bis 300 GHz

Für Expositionszeiten $t \geq 6$ Minuten (Dauerexposition) gelten die Werte nach Tabelle 8 bzw. 11. Dabei ist über jedes 6-Minuten-Intervall zu mitteln. Neben der Angabe von zulässigen Werten für Dauerexposition sind für Expositionszeiten $t < 6$ Minuten wegen der Thermoregulation des Körpers höhere Werte zulässig. Diese sind für jeden Einzelfall mit den in der Tabelle 9 enthaltenen Formeln zu bestimmen. Bei Anwendung der Werte der Tabelle 9 ist zusätzlich sicherzustellen, dass die Spitzenwerte nach Tabelle 10 nicht überschritten werden.

2.3.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 8:
Werte im Expositionsbereich 1 bei Expositionszeiten ≥ 6 Minuten

Frequenzbereich f/MHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Mittelwert der Leistungsdichte in W/m^2
0,091 - 0,576	1066	4,9/f	(–)
0,576 - 10	614/f	4,9/f	(–)
10 - 30	61,4	4,9/f	(–)
30 - 400	61,4	0,163	10
400 - 2000	$3{,}07 \cdot \sqrt{f}$	$8{,}14 \cdot \sqrt{f} \cdot 10^{-3}$	f/40
2000 - 300000	137,3	0,364	50

Tabelle 9:
Werte im Bereich erhöhter Exposition (Expositionszeiten < 6 Minuten)

Frequenzbereich f/MHz	Höchstwert von $\Sigma E_i^2 \cdot t_i$ in $(V/m)^2 \cdot min$	Höchstwert von $\Sigma H_i^2 \cdot t_i$ in $(A/m)^2 \cdot min$	Höchstwert von $\Sigma S_i^2 \cdot t_i$ in $(W/m^2) \cdot min$
1 - 10	$2{,}26 \cdot 10^6/f^2$	$143/f^2$	(–)
10 - 30	$22{,}6 \cdot 10^3$	$143/f^2$	(–)
30 - 400	$22{,}6 \cdot 10^3$	0,16	60
400 - 2000	$56{,}5 \cdot f$	$0{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot f$	$0{,}15 \cdot f$
2000 - 300000	$113 \cdot 10^3$	0,8	300

E_i, H_i gemessener oder berechneter Effektivwert der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke während des i-ten Intervalls
S_i gemessener oder berechneter Mittelwert der Leistungsdichte während des i-ten Intervalls
t_i Dauer des i-ten Intervalls

Tabelle 10:
Spitzenwerte im Bereich erhöhter Exposition (Expositionszeiten < 6 Minuten)

Frequenzbereich f /MHz	Spitzenwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Spitzenwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Spitzenwert der Leistungsdichte in W/m^2
0,091 - 0,1	2222	10/f	(–)
0,1 - 0,2	$22222 \cdot f$	10/f	(–)
0,2 - 0,3	$22222 \cdot f$	50	(–)
0,3 - 3	6667	50	(–)
3 - 10	20000/f	150/f	(–)
10 - 30	2000	150/f	(–)
30 - 400	2000	5	10000
400 - 2000	$100 \cdot \sqrt{f}$	$0{,}25 \cdot \sqrt{f}$	$25 \cdot f$
2000 - 300000	4472	11,2	50000

2.3.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 11:
Werte im Expositionsbereich 2 bei Expositionszeiten ≥ 6 Minuten

Frequenzbereich f/MHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Mittelwert der Leistungsdichte in W/m^2
0,091 - 0,14	333,3	16,8	(–)
0,14 - 0,826	333,3	2,35/f	(–)
0,826 - 10	275/f	2,35/f	(–)
10 - 30	27,5	2,35/f	(–)
30 - 400	27,5	0,073	2
400 - 2000	$1{,}375 \cdot \sqrt{f}$	$3{,}64 \cdot \sqrt{f} \cdot 10^{-3}$	f/200
2000 - 300000	61,5	0,163	10

2.3.3 Zulässige Werte für hochfrequente Ströme im Frequenzbereich 10 MHz bis 110 MHz

Im Frequenzbereich von 10 MHz bis 110 MHz können im menschlichen Körper hochfrequente Ströme eingekoppelt werden, durch die die SAR-Werte in den Extremitäten überschritten werden können. Aus diesem Grund werden zusätzlich zu den Feldstärken die Ströme durch die Extremitäten begrenzt.

Tabelle 12:
Zulässige Werte für eingekoppelte hochfrequente Ströme

Expositionsbereich	Zulässiger Strom in mA
Expositionsbereich 1	100
Expositionsbereich 2	45

2.3.4 Bewertung der Exposition bei elektromagnetischen Feldern mit mehreren Frequenzen

In elektromagnetischen Feldern unterschiedlicher Frequenzen werden unzulässige Expositionen im Frequenzbereich von 91 kHz bis 300 GHz vermieden, wenn die nachfolgenden Bedingungen eingehalten sind.

$$\sum_k \left(\frac{E_k}{E_{a,k}}\right)^2 \leq 1; \quad \sum_k \left(\frac{H_k}{H_{a,k}}\right)^2 \leq 1; \quad \sum_k \frac{S_k}{S_{a,k}} \leq 1$$

Darin bedeuten:

E_k, H_k gemessene oder berechnete spektrale Effektivwerte der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärken gemittelt über jedes 6-Minuten-Intervall

S_k Mittelwert der Leistungsdichte gemittelt über jedes 6-Minuten-Intervall

$E_{a,k}$, $H_{a,k}$, $S_{a,k}$ zulässige Werte der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärken und der Leistungsdichte nach Tabelle 8 und 11

2.4 Zulässige Werte für mittelbare Wirkungen

Die zulässigen Werte für Körperströme und Berührungsspannungen sind in der nachstehenden Tabelle 13 angegeben.

Die in Tabelle 13 enthaltenen Werte für zulässige Körperströme und für zulässige Berührungsspannungen gelten nicht für die Beeinflussung von Rohrleitungsnetzen und Netzen der Telekommunikation bzw. der Signaltechnik, in die durch parallel verlaufende Starkstromanlagen der Bahn und der elektrischen Energieversorgung Spannungen eingekoppelt werden.

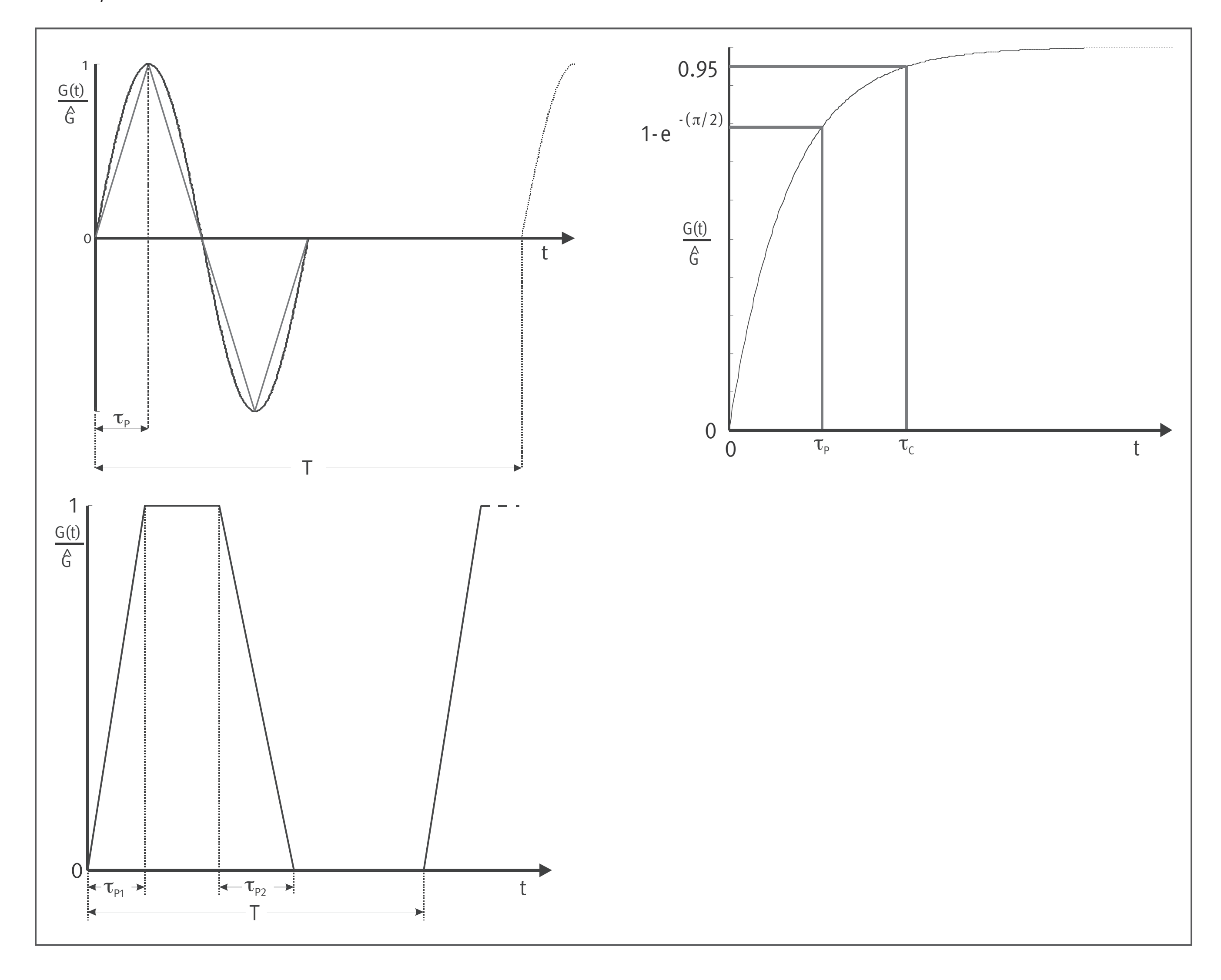
Tabelle 13:
Zulässige Körperströme und Berührungsspannungen

Frequenz f	Zulässiger Körperstrom in mA	Zulässige Berührungsspannung in V
0 Hz	10	60
1 Hz ≤ f < 100 Hz	3,5	25
100 Hz ≤ f < 2 kHz	1,75 · (f/kHz) + 3,3	25
2 kHz ≤ f < 3,8 kHz	1,4 · (f/kHz) + 4,2	25
3,8 kHz ≤ f < 12 kHz	1,4 · (f/kHz) + 4,2	1,05 · (f/kHz) + 20,5
12 kHz ≤ f < 28 kHz	1,75 · (f/kHz)	1,05 · (f/kHz) + 20,5
28 kHz ≤ f < 100 kHz	50	1,05 · (f /kHz) + 20,5
100 kHz ≤ f < 1 MHz	50	125

3 Gepulste Felder

Für gepulste Felder, die aus einer zeitlichen Abfolge von sinus-, trapez-, dreieckförmigen oder exponentiellen Einzel- oder Mehrfachpulsen und Pausen oder Gleichfeldanteilen bestehen, kann eine vereinfachte Bewertung mit den Festlegungen der nachfolgenden Abschnitte vorgenommen werden.

3.1 Frequenzbereich 0 Hz bis 91 kHz



Diese Felder werden durch folgende zusätzliche Kenngrößen beschrieben:

G	Anstelle der Größe G sind die elektrische Feldstärke E, die magnetische Feldstärke H oder die magnetische Flussdichte B einzusetzen. G(t) kennzeichnet die Zeitfunktion, $\hat{G}$ den Spitzenwert.
T	Zeitliche Dauer eines Impulses bzw. Impulszuges mit anschließender Pause.
T_I	Integrationszeit, wobei gilt: $T_I = \begin{cases} T & \text{für } T \leq 1\,s \\ 1\,s & \text{sonst} \end{cases}$
τ_P	Zeitdauer einer Feldänderung bei sinus-, dreieck- oder trapezförmigen Signalverläufen von Null auf den positiven oder negativen Spitzenwert bzw. vom positiven oder negativen Spitzenwert auf Null. Die Ermittlung von τ_p bei exponentiellen Signalverläufen ist gemäß obiger Abbildung vorzunehmen. Sind die einzelnen Zeitdauern τ_{Pi} unterschiedlich, so sind alle diese Werte τ_{Pi} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.
τ_{Pmin}	Kleinster Wert aller Zeitdauern τ_{Pi}: $\tau_{Pmin} = \min(\tau_{Pi})$
τ_C	Hilfsgröße zur Beschreibung exponentieller Signalverläufe. Sind die einzelnen Zeitdauern τ_{Ci} unterschiedlich, so sind alle diese Werte τ_{Ci} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.
τ_D	Zeitliche Summe aller Feldänderungen i im Zeitintervall T_I. Es gilt für: • sinus-, dreieck- und trapezförmige Signalverläufe: $\tau_D = \sum_i \tau_{Pi}$ • exponentielle Signalverläufe: $\tau_D = \sum_i \tau_{Ci}$
f_P	Frequenz der Feldänderung, wobei gilt:
V	Gewichtungsfaktor, wobei gilt: $V = \begin{cases} \sqrt{T_I/t_D} & \text{für } \sqrt{T_I/t_D} \leq V_{max} \\ V_{max} & \text{sonst} \end{cases}$
V_{max}	maximaler Gewichtungsfaktor. Grundsätzlich gilt: $V_{max} = 8$

Unter folgenden Voraussetzungen kann beim Betrieb von Magnetresonanz-Anlagen in Wissenschaft und Forschung und bei medizinischen Anwendungen der maximale Gewichtungsfaktor vergrößert werden, wenn

- die verbindlichen Beschaffenheitsanforderungen nationaler Rechtsvorschriften, die einschlägige Gemeinschaftsvorschriften umsetzen, von der Anlage erfüllt werden,
- für die Arbeitsplätze Gefährdungsanalysen nach dem Arbeitsschutzgesetz unter besonderer Beachtung der Gefahren durch EM-Felder durchgeführt und dokumentiert werden,
- die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- sie unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht oder in Anwesenheit eines Sachkundigen durchgeführt werden.

Die Werte für die zulässigen zeitlichen Änderungen der magnetischen Flussdichte für gepulste Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 91 kHz sind in der Tabelle 14 angegeben. Gleichzeitig dürfen die in Tabelle 15 angegebenen, jeweils über die Zeitdauer τ_{Pmin} gemittelten Werte der zeitlichen Änderungen der magnetischen Flussdichte nicht über-schritten werden.

Tabelle 14:
Maximal zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich fp/Hz	**Maximal zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte in T/s**	
	Expositionsbereich 1	**Bereich erhöhter Exposition 2 h/d**
0 - 1	$0{,}6 \cdot f_p \cdot V$	$1{,}1 \cdot f_p \cdot V$
1 - 1000	$0{,}6 \cdot V$	$1{,}1 \cdot V$
1000 - 48500	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$1{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$
48500 - 91000	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$55 \cdot V$

Tabelle 15:
Mittlere zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition, gemittelt über die Zeitdauer τ_{Pmin}

Frequenzbereich fp/Hz	Mittlere zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte in T/s	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0 - 1 1 - 1000 1000 - 48500 48500 - 91000	$0{,}38 \cdot f_p \cdot V$ $0{,}38 \cdot V$ $3{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$ $3{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$0{,}72 \cdot f_p \cdot V$ $0{,}72 \cdot V$ $0{,}72 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$ $35 \cdot V$

Für Extremitäten dürfen die in Tabelle 14 und 15 angegebenen Werte um den Faktor 2,5 überschritten werden.

Die maximal zulässigen Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte bei gepulsten Magnetfeldern ergeben sich aus den Werten der Tabelle 15 durch Multiplikation mit dem Faktor τ_{Pmin} bzw. aus den Werten der Tabellen 3 und 6 durch Multiplikation mit dem Ausdruck $\sqrt{2} \cdot V$.

3.2 Frequenzbereich 91 kHz bis 300 MHz

Bei gepulsten Feldern sind bei Anwendung der Tabelle 9 für Effektivwerte und Tabelle 10 für Spitzenwerte die Basiswerte der Tabelle 1 eingehalten.

4 Anwendung der Basiswerte

Bei Verzicht der Anwendung der abgeleiteten Werte für Ganzkörperexposition ist sicherzustellen, dass unter allen auftretenden Bedingungen die Basiswerte eingehalten sind. Dabei werden die Basiswerte der Tabelle 1 als zusätzliche Sicherheit mit den Faktoren der nachfolgenden Tabelle 16 multipliziert.

Im Bereich erhöhter Exposition sowie für Teilkörperexposition sind die Basiswerte nach Tabelle 1 sicher einzuhalten.

Tabelle 16:
Reduktionsfaktoren zur Bewertung mit Basiswerten

Frequenz	Expositionsbereich 1	Expositionsbereich 2
0 Hz - 91 kHz	0,6	0,2
91 kHz - 300 GHz	1,0	0,2

Anlage 2
Zulässige Werte für Anlagen mit hohen statischen Magnetfeldern

Tabelle 1:
Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte

Exposition	Magnetische Flussdichte
Mittelwert für 8h (gemittelt über den ganzen Körper) Spitzenwert für Kopf und Rumpf Spitzenwert für Extremitäten	212 mT 2 T 5 T

Im Bereich von Wissenschaft und Forschung und im Einzelfall bei medizinischer Anwendung dürfen die Werte in Tabelle 2 angewendet werden, wenn der Betreiber der Anlage sicherstellt, dass

- die verbindlichen Beschaffenheitsanforderungen nationaler Rechtsvorschriften, die einschlägige Gemeinschaftsvorschriften umsetzen, von der Anlage erfüllt werden,
- für die Arbeitsplätze Gefährdungsanalysen nach dem Arbeitsschutzgesetz unter besonderer Beachtung der Gefahren durch EM-Felder durchgeführt und dokumentiert werden,
- die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- Tätigkeiten unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht oder in Anwesenheit eines Sachkundigen durchgeführt werden.

Tabelle 2:
Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte unter Berücksichtigung besonderer Voraussetzungen

Exposition	Magnetische Flussdichte
Spitzenwert für Kopf und Rumpf (maximal 2 h/d) Bei Expositionen größer 2 h/d gilt Tabelle 1	4 T
Spitzenwert für Extremitäten	10 T

5 Elektrizität

5.1 Einführung und Erläuterungen

Für die Abwendung von Gefahren für Leben und Gesundheit durch gefährliche Körperströme ist die Kenntnis der Wirkung des elektrischen Stromes beim Fluss durch den menschlichen Körper notwendig.

Die Ergebnisse einschlägiger Untersuchungen sind in [1] dargestellt. Danach hängt die Wirkung des elektrischen Stroms beim Fluss durch den menschlichen Körper von der Höhe des Stroms, der Einwirkungsdauer, der Frequenz und der Schwingungsform des Vorgangs ab. Gleiche physiologische Wirkungen beim Menschen, die durch einen Berührungsstromkreis hervorgerufen werden, wurden zu Bemessungsklassen zusammengefasst.

5.2 Grenzwerte

Rechtsverbindliche Grenzwerte für die Einwirkung des elektrischen Stroms wurden bisher nicht festgelegt.

5.3 Empfehlungen

National und international befassen sich verschiedene Gremien mit der entsprechenden Normung. Für den deutschen Bereich wird auf die DIN-VDE-Bestimmungen wie z.B. [1] und [2] hingewiesen.

In [1] wird folgende Einteilung vorgenommen:

Bemessungsklasse	Wirkung auf den Menschen
1A	Grenze der Spürbarkeit
1B	Beginn der Schmerzempfindungen
2	Loslassgrenze

Bei Strömen oder Spannungen unterhalb der Loslassgrenze wird das Zustandekommen eines Berührungsstromkreises lediglich im Fehlerfall in Kauf genommen. Oberhalb des Loslassgrenzwertes darf ein Berührungsstromkreis nicht bestehen bleiben. Geeignete Schutzmaßnahmen sind erforderlich.

Die Werte für Strom und Spannung entsprechend der Bemessungsklasse unterscheiden sich insbesondere durch die Art des Vorgangs. Es wird unterschieden zwischen

- sinusförmigen Vorgängen,
- gleichförmigen Vorgängen,
- sinusförmigen Vorgängen mit Gleichanteil,
- nicht sinusförmigen Vorgängen mit Gleichanteil,
- Impulsentladungen und Kondensatorentladungen.

Für Netzwechselspannungen mit einer Frequenz von 50 Hz und Einwirkdauer über zwei Sekunden ergeben sich folgende Strom- und Spannungswerte:

Bemessungsklasse	Strom	Spannung
1A	0,5 mA	12 V
1B	3,5 mA	25 V
2	10 mA	50 V

Da die sehr detaillierten Regelungen und die umfangreichen Umrechnungsdiagramme den Rahmen dieses Reports sprengen würden, wird im Weiteren auf die einschlägigen Bestimmungen wie z.B. [1] und [2] verwiesen.

5.4 Literatur

[1] DIN VDE 0800 T1: Fernmeldetechnik; Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte. Ausg. 5/1989. Beuth, Berlin 1989

[2] DIN VDE 0100: Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V. Ausg. 5/1973. Beuth, Berlin 1973

6 Biomechanische Belastungen

6.1 Heben und Tragen von Lasten

6.1.1 Einführung und Erläuterungen

Durch das manuelle Heben und Tragen von Lasten kann insbesondere eine Gefährdung der Lenden- und Halswirbelsäule entstehen. Als manuelle Handhabung von Lasten gilt jede Beförderung oder das Abstützen einer Last durch einen oder mehrere Arbeitnehmer, u.a. das Heben, Absetzen, Schieben, Ziehen, Tragen und Bewegen einer Last (zit. nach Richtlinie 90/269/EWG).

Die Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) enthält in der Gruppe der durch physikalische Einwirkung verursachten Berufskrankheiten zwei Positionen:

- BK 2108

Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeit in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

- BK 2109

Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Halswirbelsäule durch langjähriges Tragen schwerer Lasten auf der Schulter, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

6.1.2 Richtwerte

Die „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV)“ [1] wurde am 20. Dezember 1996 in Kraft gesetzt. Sie setzt die Richtlinie 90/269/EWG [2] in nationales Arbeitsschutzrecht um.

Erläuterungen für den Begriff „schwere Lasten“ finden sich im „Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2108, Anlage 1, Berufskrankheiten-Verordnung (BKV)“ [3] mit Angaben zu Lastgewichten beim Heben, Umsetzen und Tragen bzw. Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben (Tabelle 1).

Neben dem Gewicht der Lasten hat auch die Häufigkeit der Lasthandhabung einen Einfluss auf die Belastung. Für die Werte in Tabelle 1 werden 250 Hebe- und Umsetzvorgänge pro Tag oder eine Gesamttragedauer von mindestens 30 Minuten als belastend angesetzt.

Die Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben von Lasten sind nicht allgemein zu berücksichtigen, sondern als eine besondere Form der Lastenhandhabung untrennbar mit dem Heben und Tragen von Lasten verbunden.

Das Merkblatt für die BK 2109 [4] nennt ein Lastgewicht von ≥ 50 kg als Expositionskriterium, wenn diese Last fortgesetzt (mindestens über zehn Berufsjahre) auf der Schulter getragen wurde, einhergehend mit einer statischen Belastung der zervikalen Bewegungssegmente und außergewöhnlicher Zwangshaltung der Halswirbelsäule (nach vorn und seitlich erzwungener Kopfbeugehaltung bei gleichzeitiger maximaler Anspannung der Nackenmuskulatur).

Werte für Frauen

Werdende Mütter dürfen nach dem Mutterschutzgesetz [5] unter anderem Arbeiten nicht durchführen, bei denen

- regelmäßig Lasten von mehr als 5 kg Gewicht,
- gelegentlich Lasten von mehr als 10 kg Gewicht

ohne mechanische Hilfsmittel von Hand gehoben oder befördert werden müssen.

Bei allen Richtwertangaben sei ausdrücklich auf die Bedeutung der Randbedingungen in Tabelle 2 hingewiesen.

Tabelle 1:
Lastgewichte (in kg) und Aktionskräfte (in N) mit einem erhöhten Risiko für die Verursachung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule, wenn sie mit einer gewissen Regelmäßigkeit gehandhabt werden

Tätigkeit	Frauen	Männer
beidhändiges Heben	10 kg	20 kg
einhändiges Heben	5 kg	10 kg
beidhändiges Umsetzen	20 kg	30 kg
einhändiges Umsetzen	5 kg	10 kg
beidseitiges Tragen neben dem Körper, auf den Schultern oder dem Rücken	20 kg	30 kg
Tragen vor oder einseitig neben dem Körper	15 kg	25 kg
Ziehen	250 N	350 N
Schieben	300 N	450 N

Tabelle 2:
Einflussfaktoren auf die Belastung des Menschen beim Handhaben von Lasten

Die Höhe der Belastung des Menschen beim Handhaben von Lasten hängt ab von Eigenschaften		
des Menschen	**der Last**	**des Greifens**
Alter	Gewicht	Greifbarkeit
Geschlecht	Form	Griffform
Gesundheitszustand	Größe	Grifflage
Leistungsfähigkeit	Handhabungshäufigkeit	körpernahes Handhaben
Trainingszustand	Hubhöhe	ein- oder beidhändiges Tragen
Erfahrung	Transportweg	Verwendung von Tragemitteln
Körpergröße und -gewicht	Transportgeschwindigkeit	

6.1.3 Literatur

[1] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV) vom 4. Dezember 1996. BGBl. I, S. 1842, zul. geänd. durch Achte Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 25. November 2003, BGBl. I S. 2304, 2342

[2] Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der manuellen Handhabung von Lasten, die für die Arbeitnehmer insbesondere eine Gefährdung der Lendenwirbelsäule mit sich bringt. Nr. 90/269/EWG, Vierte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG. ABl. EG (1990) Nr. L 156/9, S. 157-161

[3] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2108 Anlage 1 Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 1. September 2006. BArbBl. (2006) Nr. 10, S. 30 ff.

[4] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2109. Anlage 1 Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 18. Dezember 1992. BArbBl. (1993) Nr. 3, S. 53

[5] Mutterschutzgesetz (MuSchG) in der Fassung vom 20. Juni 2002, BGBl. I, S. 2318. Letzte Änderung vom 17. März 2009, BGBl. I, S. 550

6.2 Quetschen von Körperteilen

6.2.1 Einführung und Erläuterungen

Eine Gefährdung von Personen durch Quetschen besteht insbesondere bei kraftbetätigten Schließmechanismen, beispielsweise bei kraftbetätigten Fenstern, Türen und Toren, bei kraftbetätigten Maschinenteilen wie etwa Niederhaltern von Papierschneidemaschinen oder bei kraftbetriebenen Fahrsystemen wie z.B. fahrerlosen Transportfahrzeugen, die mit einem Auffahrschutz ausgestattet sein müssen. Handbetätigte Einrichtungen und Konstruktionsteile, die ebenfalls hohe Quetschkräfte erzeugen können, werden im Zusammenhang mit der Festlegung von Grenzwerten nicht betrachtet.

Als Kenngrößen für die Beurteilung der Gefährdung einer Person durch Quetschen werden die beiden folgenden Kräfte verwendet:

- Klemmkraft F_K
- Spitzenkraft F_S

Bei der Klemmkraft F_K handelt es sich um eine statisch wirkende Kraft, mit der eine Person eingeklemmt und festgehalten wird. Die Spitzenkraft F_S wirkt dynamisch beim Aufprall von Schließkanten auf einen Messgeber.

Nach dem kurzzeitigen Einwirken der dynamischen Spitzenkraft F_S kann sich eine statische Klemmkraft F_K einstellen, durch die eine eingeklemmte Person mit den Schließkanten festgehalten wird, es kann aber auch durch Umsteuerung des Antriebs eine Reversierbewegung des Schließmechanismus ausgelöst werden, sodass die gefährdete Person sofort wieder freigegeben wird. Bei impulsförmigen Krafteinwirkungen (Impulsdauer $<$ 5 Sekunden) kann anstelle der Klemmkraft F_K die Effektivkraft F_E als Kenngröße verwendet werden. Die Effektivkraft F_E stellt eine über den Impuls gemittelte Kraft dar.

Generell sind Reversiersteuerungen für kraftbetätigte Schließmechanismen zu bevorzugen, da sich eine eingeklemmte Person nicht nur bei der mit dem Quetschen verbundenen Druckbelastung, sondern auch beim Befreiungsversuch verletzen kann. Bei Maschinen ist jedoch für den Arbeitsablauf häufig eine Druckbelastung notwendig, sodass ein Reversieren nicht möglich ist.

Die Gefährdung einer Person durch Quetschen lässt sich ausschalten, wenn die festgelegten Grenzwerte unterschritten werden.

6.2.2 Grenzwerte

Für kraftbetätigte Türen und Tore als bauliche Einrichtungen gilt nach der Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 11/1-5 [1]:

$F_K \leq 150$ N

Die Norm DIN EN 12453 [2] enthält darüber hinaus Festlegungen im Hinblick auf die dynamische Spitzenkraft an kraftbetätigten Toren (Tabelle 3).

Tabelle 3:
Zulässige Spitzenkräfte für kraftbetätigte Tore nach DIN EN 12453 bei einer Federsteifigkeit des Kraftmessgebers von 500 N/mm

Art des Tores bzw. der Einrichtung	Zulässige Spitzenkraft F_S in N		
	zwischen Schließkanten und Gegenschließkanten		zwischen ebenen Flächen › 0,1 m² mit keiner Seite weniger als 100 mm
	in Öffnungsweiten von 50 bis 500 mm	in Öffnungsweiten › 500 mm	
horizontal bewegtes Tor	400	1400	1400
Tor, das sich um eine Achse senkrecht zum Fußboden dreht	400	1400	1400
vertikal bewegtes Tor	400	400	1400
Tor, das sich um eine Achse parallel zum Fußboden dreht	400	400	1400
Schranken	400	400	1400

Die Einwirkdauer des dynamischen Spitzenkraftimpulses darf dabei höchstens 0,5 s betragen. Im Bereich von 0,5 bis 5,0 s darf die an den Schließkanten wirkende Kraft 150 N nicht überschreiten und muss am Ende des gesamten Kraftimpulses von 5 s Dauer auf 25 N abgebaut sein. Den genannten Grenzwerten liegt eine Federsteifigkeit des Kraftmessgebers von 500 N/mm zugrunde.

Für kraftbetätigte Türen sind die maximal zulässigen Werte für dynamische und statische Kräfte an der Hauptschließkante (Abbildung 1) in DIN 18650-1 [3] festgelegt (Tabelle 4).

Diese Kräfte sind als Maximalkräfte zu sehen. Die Einhaltung der Kraftbegrenzung eignet sich nicht als Schutzmaßnahme, wenn Kinder, gebrechliche Menschen und Menschen mit Behinderungen die Türen benutzen. Für diese besonders schutzbedürftigen Menschen können auch deutlich niedrigere Kräfte, z.B. beim Anstoßen, zu erheblichen Verletzungen führen.

Tabelle 4:
Zulässige Schließkräfte

Türtyp	Zulässige Spitzenkräfte in N			
	Spalt zwischen Schließkanten und Gegenschließkanten[1]			zwischen ebenen Flächen[2]
	‹ 200 mm	300 mm	≥ 500 mm	Abstand ≥ 500 mm
Schiebetür	400	700	1 400	–
Drehflügeltür, Falttür	400	700	1 400	1 400
Karusselltür	400	700	1 400	–

[1] Die Gegenschließkante kann auch als zweite Hauptschließkante ausgebildet sein.

[2] Ebene Flächen sind Türflügel und Bauwerkswände, wenn sie keine Vorsprünge mit einer Fläche von ‹ 0,1 m² oder der Länge einer Kante von › 0,05 m besitzen.

Anmerkung:
Die oben angegebenen Werte sind Maximalwerte, die innerhalb einer Zeit von maximal 0,75 s (T_d ‹ 0,75 s) zulässig sind.

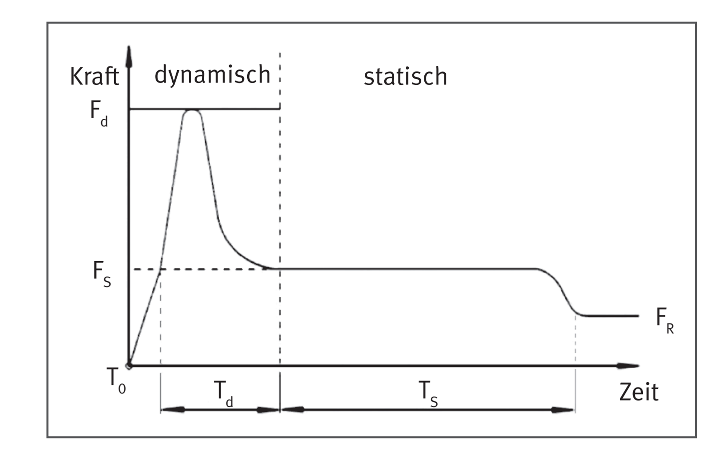


Abbildung 1:
Prinzipdarstellung der Schließkraft in Abhängigkeit von der Zeit

Legende:

F_d maximale dynamische Kraft, gemessen während einer Zeitspanne T_d

F_s maximale statische Kraft, gemessen während der Zeitspanne T_s

F_R maximale Restkraft, gemessen nach einer Zeitspanne T_s

T_d maximale Dauer der dynamischen Krafteinwirkung

T_s maximale Dauer der statischen Kraft

T_0 Aufprallzeitpunkt

Nach der Zeit T_d (0,75 s) ist keine statische Kraft größer als 150 N zulässig. Die statische Kraft muss nach 4,25 s (T_s) auf maximal 80 N absinken. Die Kräfte sind hierbei als Messwert der in DIN 18650-1 festgelegten Schließkraftmessmethode zu verstehen.

Für Aufzugtüren gilt nach den Technischen Regeln für Aufzüge (TRA) 200 [4]

- an den Hauptschließkanten:

  $F_K \leq 150$ N, $F_S \leq 150$ N

- an den Nebenschließkanten:

  $F_S \leq 300$ N

Für Kraftomnibustüren gilt nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [5]

- an den Hauptschließkanten:

  $F_E \leq 150$ N, $F_S \leq 200$ N

- an den Nebenschließkanten:

  $F_E \leq 150$ N, $F_S \leq 250$ N

bei einer Federsteifigkeit von 10 N/mm für den Kraftmessgeber.

6.2.3 Literatur

[1] Arbeitsstätten-Richtlinien für kraftbetätigte Türen und Tore. ASR 11/1-5 (September 1985). BArbBl. (1985) Nr. 9, S. 81

[2] DIN EN 12453: Tore – Nutzungssicherheit kraftbetätigter Tore – Anforderungen und Klassifikation. Ausg. 2/2001. Beuth, Berlin 2001

[3] Technische Regeln für Aufzüge: Personenaufzüge, Lastenaufzüge, Güteraufzüge (TRA 200). Ausg. 5/1992, BArbBl. (1992) Nr. 5, S. 30, und (1995) Nr. 12, S. 47

[4] DIN 18650-1: Schlösser und Baubeschläge – Automatische Türsysteme, Teil 1: Produktanforderungen und Prüfverfahren. Ausg. 12/2005. Beuth, Berlin 2005

[5] Richtlinien für fremdkraftbetätigte Fahrgasttüren in Kraftomnibussen. § 35e Abs. 3 und Abs. 5 StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung). Verkehrsblatt VkBl. (1991) Nr. 11, S. 498-500

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

Mittelstraße 51
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Fax: 030 288763808